

**ÍNDICES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA
CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI CONSIDERANDO ASPECTOS SOCIO-
ECONÓMICOS Y TÉCNICOS ENTRE 2019 Y 2020**



**CESAR AUGUSTO CASTILLO ARÉVALO
2151424**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2021**

**ÍNDICES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA
CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI CONSIDERANDO ASPECTOS SOCIO-
ECONÓMICOS Y TÉCNICOS ENTRE 2019 Y 2020**



**CESAR AUGUSTO CASTILLO ARÉVALO
2151424**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Electricista**

**Director
RICARDO MORENO CHUQUEN
Doctor en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2021**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electricista

JAIME QUINTERO RESTREPO

Jurado

JORGE EDUARDO ZULUAGA OROZCO

Jurado

Santiago de Cali, 25 de marzo de 2021

CONTENIDO	pág.
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO	19
4. ANTECEDENTES	20
5. METODOLOGÍA	22
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	22
5.2 FASES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	24
5.2.1 Fase 1: Fase preparatoria (revisión de la literatura)	24
5.2.2 Fase 2: Sistematización de datos	24
5.2.3 Fase 3: Analítica	29
5.2.4 Fase 4: Informativa	29
6. RESULTADOS	30
6.1 BASES DE DATOS DE CONSUMOS DE ENERGÍA Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON INFORMACIÓN DE XM Y DE LA SSPD	

(SÚPER INTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS) DE LOS AÑOS 2019 Y 2020 PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.	30
6.1.1 Base de datos No 1 consumos de energía eléctrica.	30
6.1.2 Base de datos No 2 Tarifas de energía eléctrica.	31
6.2 ÍNDICES DE LOS CONSUMOS Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ACUERDO A LOS ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS Y A LAS UNIDADES DE CONTROL DE PRONÓSTICO (UCP) DE CADA SUBESTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	32
6.2.1 Interpretación de los consumos de energía eléctrica de las unidades de control de cada subestación de energía eléctrica.	32
6.2.2 Índice de consumos de energía eléctrica de las unidades de control de cada subestación de energía eléctrica.	45
6.2.3 Interpretación de las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali.	52
6.2.4 Índice de las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali.	55
6.3 INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL CONSUMO Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE SANTIAGO DE CALI PARA PROVEER INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES DE ORDEN ENERGÉTICO Y DE ACUERDO A LAS PERSPECTIVAS Y ESQUEMAS DE MEDICIÓN AVANZADA DEL PROYECTO DE RESOLUCIÓN CREG 131 DE 2020	59
7. CONCLUSIONES	62
8. RECOMENDACIONES PARA EL DESPLIEGUE AMI EN LA CIUDAD DE CALI	64
9. TRABAJOS FUTUROS	66
REFERENCIAS	68

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Subestaciones del área de estudio modificado del portal de CELSIA.	23
Figura 2. Generación de csv mediante código Python del consumo eléctrico	30
Figura 3. Aplicativo para la descarga de tarifas de energía eléctrica.	31
Figura 4. Base de datos de las tarifas eléctricas de la ciudad de Cali.	32
Figura 5. Consumo del mes de enero por subestación año 2019 y 2020.	33
Figura 6. Consumo de energía mes de enero 2019 -2020. a) subestación Juanchito 2019 – 2020 b) Subestación Meléndez 2019 -2020	34
Figura 7. Consumo de energía año 2019 y 2020. b) Febrero b) Marzo.	35
Figura 8. Consumo de energía año 2019 y 2020. b) Abril b) Mayo	37
Figura 9. Consumo del mes de junio por subestación año 201	38
Figura 10. Consumo de energía mes de junio 2019 -2020. a) subestación Juanchito 2019 – 2020 b) Subestación Meléndez 2019 - 2020.	39
Figura 11. Consumo del mes de agosto por subestación año 2019 y 2020.	40
Figura 12. Consumo de energía año 2019 y 2020. a) Octubre b) Noviembre c) Diciembre	41
Figura 13. Tendencias mensuales del consumo energético de la subestación Yumbo de 2019-2020. a) enero b)abril c) agosto d) diciembre	43
Figura 14. Índice de consumo energético mes de enero 2019-2020.	45
Figura 15. Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Febrero b) Marzo	46
Figura 16. Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Abril b) Mayo	47

Figura 17. Índice de consumo energético mes de Agosto 2019-2020.	48
Figura 18. Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Septiembre b) Octubre	49
Figura 19. Comportamiento del consumo mes de septiembre estación Aguablanca 2019-2020.	50
Figura 20. Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. Noviembre - Diciembre	50
Figura 21. Comportamiento de los índices máximos de consumo energético de Cali.	51
Figura 22. Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de enero 2019-2020	52
Figura 23. Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) 2019-2020 a) Febrero b) Marzo	53
Figura 24. Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de mayo 2019-2020	54
Figura 25. Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) 2019-2020 a) Junio b) Julio	54
Figura 26. Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de agosto 2019-2020	55
Figura 27. Patrón del índice de tarifa de energía eléctrica por estrato socioeconómico 2019-2020.	59

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. <i>Índices de las tarifas de energía eléctrica estrato 1,2 y 3, 2019-2020.</i>	57
Tabla 2. <i>Índices de las tarifas de energía eléctrica estrato 4, 5 y 6, 2019-2020</i>	58

A Dios por brindarme sabiduría y paciencia en este camino.

A mis padres Oscar Castillo y María Arévalo por desear para mí lo que nunca tuvieron y brindarme apoyo emocional.

En especial a mi esposa Nora Marcela Muñoz Tulande, quien desde un principio me ha acompañado durante este proceso, logrando así satisfactoriamente un objetivo más en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el entendimiento y la oportunidad de cumplir este gran logro.

A mi familia y considerablemente a mi esposa por su amor, apoyo incondicional y darme ánimo para continuar , a ti gracias.

Al Dr. Ricardo Moreno Chuquen, por dar su voto de confianza en mí tema de investigación y por sus contribución es en mi proceso de formación a través de su apoyo incondicional, tiempo y meritorias enseñanzas.

Y a todos aquellos que contribuyeron de una u otra forma a la culminación exitosa de este proceso

RESUMEN

Evaluar los índices del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia para relacionar características socioeconómicas y técnicas entre los años 2019 y 2020, permite proveer información para la toma de decisiones de orden energético y de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución CREG 131 de 2020,. Este trabajo utiliza información de la demanda de potencia de acuerdo a información del Centro Nacional de Despacho (CND) que es el encargado de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional y el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) mediante la operación y administración de XM. Los índices y el análisis gráfico da evidencia de los comportamientos presentados mes a mes, resaltando que el 2020 el índice de consumo de energía eléctrica aumento al 146.26 % en el mes de abril hasta el mes de diciembre manteniendo valores superiores al 100% . En las tarifas eléctricas en el sector residencial su índice fue elevado con respecto al 2019.

Palabras claves: Tarifas de energía eléctrica, Consumó de energía eléctrica, Subestaciones, Sector residencial y Resolución CREG 131 de 2020.

ABSTRACT

Evaluating the indices of electrical energy consumption in the city Santiago of Cali, Colombia to relate socio-economic and technical characteristics between the years 2019 and 2020, allows to provide information for making energy decisions and according to the perspectives and schemes of advanced measurement of the draft CREG Resolution 131 of 2020, taking into account that there are entities that are generally in charge of supervising the constant flow of energy and other entities that regulate the veracity of energy data based on the National Dispatch Center (CND) who is in charge of the planning, supervision, and control of the integrated operation of the generation, interconnection and transmission resources of the National Interconnected System and the Administrator of the Commercial Exchange System (ASIC) through the operation and administration of XM. The indices and the graphical analysis evidenced knowing the different behaviors presented month by month, highlighting that in 2020 the index of electricity consumption increased to 146.26% in April until December, maintaining values above 100%. In electricity rates in the residential sector, its index was high compared to 2019.

Keywords: Electricity rates, Electricity consumption, Substations, Residential sector, and CREG Resolution 131 of 2020

INTRODUCCIÓN

La producción de energía eléctrica constituye en estos momentos una de las preocupaciones fundamentales de la política económica en los diferentes países por ser dicha fuente de energía imprescindible para el desarrollo económico, debido a ello se ha registrado durante los últimos años un elevado aumento de consumo de energía por lo tanto, el uso eficiente de la energía constituye una de las más importantes opciones tecnológicas para afrontar el futuro, lo cual no es una teoría nueva, ya que desde hace un par de años la gran mayoría de los países manufacturados adoptaron políticas o proyectos, para la modernización, racionalización y distribución de la energía, para enfrentar los severos aumentos en los consumos de energía eléctrica.

Cabe destacar que la electricidad es una fuente de energía secundaria más utilizada en el mundo. Su uso es esencial para el desarrollo de las actividades económicas, tecnológicas e industriales. En la producción es empleada en la mayoría de los procesos y en los hogares, este recurso, les permite realizar sus actividades cotidianas en condiciones más cómodas. Por lo tanto, su uso es primordial para el desarrollo social y económico de todo país. En Colombia, la oferta de energía eléctrica es controlada por un mercado competitivo, por diseño no tiene intervención del estado las ofertas de generación El Centro Nacional de Despacho (CND) es el encargado de la planeación, la supervisión y el control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional, teniendo como objetivo una operación segura, confiable y económica (XM, 2020) algo que se encuentra establecido en la ley 143 de 1994 del ministerio de minas y energía políticas en el marco de la constitución política de Colombia.

El sector residencial es un sector clave en el contexto energético actual, tanto nacional como local, debido a la importancia que reviste su necesidades energéticas, en Santiago de Cali en términos de energía final presento un valor de 1,160,607 MWh para el año 2018, indicando que este sector es de mayor consumo de energía representado en un 41.6 % del total de consumo registrado para el año 2019 (Departamento Administrativo de Planeación, 2019). Diversos factores tratan de explicar la peculiar tendencia en el alza de los consumos energéticos, tales como el incremento del número de hogares, el consumismo, entre otros, y consecuentemente, el aumento de equipamiento. Todo ello, propiciado por los incrementos de la capacidad de poder adquisitivo y una mejora del nivel de vida, hacen prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector residencial en la demanda energética, dado lo anterior los periodos 2019 y 2020 son principales para el análisis del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Cali.

La ciudad de Santiago de Cali es la tercera ciudad con mayor cantidad de habitantes a nivel nacional con una cifra 2.227.642 habitantes para el año 2019 (Departamento Administrativo de Planeación, 2019), así mismo es importante que empiecen a realizar adelantos investigativos en el ámbito del consumo de energía eléctrica para poder emprender buenas tomas de decisiones y hacer un uso adecuado energético. La ciudad está conformado por una configuración tipo anillo que alimenta un grupo de subestaciones a 115 kV, conformado por las subestaciones Pance, San Antonio (1-2), Chipichape (1-2), La Campiña, Termo yumbo, Guachal, Juanchito, San Luis, Aguablanca, Alférez I y Meléndez, para un total de 13 puntos de análisis, de la presente investigación, cabe resaltar que el operador de red en el nivel de 115 kV es EPSA, y la propiedad de estos activos es compartida por EPSA y EMCALI (EMCALI, 2019).

El consumo de energía eléctrica y las tarifas son los factores de análisis imprescindibles de esta investigación, teniendo en cuenta que hay entidades que se encargan de manera general en supervisar el constante flujo de energía y otras entidades que regulan la veracidad de los datos energéticos, por ende se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo los consumos y las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos y a las unidades de control de pronóstico (UCP) de cada subestación de energía eléctrica proveen información para la toma de decisiones de orden energético y de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución CREG 131 de 2020?

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- El consumo de energía eléctrica en los sectores urbanos es clave para los procesos de transiciones energéticas y alternativas de organización energética. Según informes de la Unidad de Planeación de Minero Energética (UPME) el sector residencial corresponde al 40% de la demanda de energía eléctrica en Colombia (UPME, 2019, p. 7) y para 2050 el 88% de la población residirá en el sector urbano (UPME, 2020, p. 10). De esta manera, se hace importante realizar un estudio detallado del consumo de energía eléctrica y tarifas en el sector residencial de la ciudad de Cali.

De las diferentes especialidades que brinda la ingeniería eléctrica, los mercados de energía eléctrica y sistemas de potencia cumple una función importante en este estudio, ya que desde este enfoque se realizará un análisis sectorizado del consumo y tarifas de energía eléctrica en la ciudad de Santiago de Cali con el propósito de identificar características del consumo por estratos socioeconómicos y considerando las subestaciones de energía eléctrica correspondientes con el propósito de aportar a la toma de decisiones de orden energéticos incluyendo aportes al tema de discusión vigente de la infraestructura de medición avanzada del sistema interconectado nacional. El suministro de energía eléctrica es un componente fundamental para el desarrollo de la actividad económica por ello el consumo en el sector residencial de la ciudad de Cali, presento un valor de 1,160,607 MWh para el año 2018, indicando que este sector es de mayor consumo de energía representado en un 41.6 % del total de consumo registrado para el año 2019 (Departamento Administrativo de Planeación, 2019), lo cual indica que el sector residencial es la sección donde se puede realizar la mayor toma de decisiones debido al gran flujo de datos que se pueden analizar en acciones sobre el consumo y tarifas de energía para la ciudad. La obtención y clasificación de los datos se realizará mediante fuentes de información primaria (UPME, XM, SSPD), y el análisis de estos, se realizarán mediante Python y Microsoft Excel, desarrollando índices que permitirán el análisis e interpretación del consumo de energía eléctrica y de las tarifas de energía eléctrica de los años 2019 y 2020.

Las medidas de aislamiento sociales a causa de la pandemia del virus Covid-19 ha representado cambios en el comportamiento humano y uno de ellos está relacionado con la normalidad del sistema eléctrico. Por ello es fundamental realizar el análisis energético del 2020 con respecto al 2019 ya que el funcionamiento del sistema se basa en la previsibilidad de los datos. Lo anterior tiene implicaciones relevantes en el consumo eléctrico. Se estima que el consumo eléctrico típicamente ha tenido un patrón con un doble ciclo de uso a lo largo del día, con un pico en la mañana y otro en la tarde (Vidas, 2020). Sin embargo, ahora con esta investigación

se puede evidenciar y/o afirmar que el consumo de la energía eléctrica activa ha variado su ciclo de normalidad en las 13 subestaciones de la Ciudad de Cali.

2. JUSTIFICACIÓN

El sector residencial es una sección clave en el contexto energético actual, tanto nacional como local, debido a la importancia que reviste sus necesidades energéticas. Cali está ubicada al sur occidente de Colombia convirtiéndose desde el 2018 en distrito especial (El Congreso de la Republica de Colombia, 2018), por ende las entidades territoriales potencializarán sus ventajas comparativas y competitivas para el desarrollo económico que optimizará las condiciones de vida de los habitantes (El Congreso de la Republica de Colombia, 2013), debido lo anterior se han evidenciado grandes esfuerzos en el proceso de actualización e implementación de herramientas de monitoreo y control en la infraestructura de medición avanzada (AMI) Téllez Gutiérrez, *et ál.*, 2018), en tiempo real que permitan el aprovechamiento de la energía.

El consumo de energía eléctrica y las tarifas son los factores de análisis imprescindibles de esta investigación, teniendo en cuenta que hay entidades que se encargan de manera general en supervisar el constante flujo de energía y otras entidades que regulan la veracidad de los datos energéticos en función al Centro Nacional de Despacho (CND) que es el encargado de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional y el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) que en asocio conforman la operación y administración de XM (XM, 2020), que se encargan del control de manejo de la generación de energía a partir del índice de demanda (Minergia, 2019), por otro lado hay entidades gubernamentales que tienen diferentes funciones entre ellas se encuentra; la planeación, orientación, desarrollo y generación de acciones energéticas de forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero-energético lo realiza la UPME (UPME, 2017), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) tiene como función de regular los monopolios en la prestación de los servicios públicos (CREG, 2017) y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) ejerce las funciones de inspección, vigilancia y control sobre las entidades y empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía y gas, (SSPD, 2020) dichas entidades mencionadas anteriormente se encargan de respaldar la estructura del Ministerio de Minas y energía (Minergia, 2019).

El consumo de energía eléctrica en la ciudad de Cali en año 2018 fue de 2.787.725 Mwh permitiendo conocer que el mayor índice de consumo se ubica en el sector residencial con una cifra aproximada de 41.6 % con respecto al sector comercial (32.35 %), Industrial (11.1%), público (4.90 %) y otros sectores (10.05 %) (Departamento Administrativo de Planeación, 2019), lo que indica que el área residencial es la zona con mayor concentración, viable para el análisis investigativo

en el tema de mercados de energía para la ciudad. Dado lo anterior, en la búsqueda bibliográfica se obtiene como resultado que se encuentra una información dispersa en diferentes bases de datos, como el centro nacional de despacho de XM, EMCALI, UPME y SSPD, pero tal no es clara, ni concisa, ni concreta para el desarrollo de la investigación acerca de los consumos de energía de las subestaciones de la ciudad según criterios sociodemográficos. De acuerdo a lo anterior se busca crear una base de datos usando herramientas digitales como Python que permita el análisis y visualización de estos datos. Este análisis en el proyecto de investigación contará con información entre las fechas de enero de 2019 a diciembre de 2020, con el fin de aportar a la toma de decisiones energéticas para la ciudad, integrando las variaciones de demanda causada por el virus Covid -19 ya que se vuelve clave realizar un análisis energético entre este periodo para poder conocer el nuevo patrón generado, que permitirá servir de base para la implementación e interpretación de información energética de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución 131 de 2020 de la CREG. (Comision de Regulacion de Energia y Gas, 2020). Además, con esta investigación se procura ser un modelo de guía para carreras en las diferentes modalidades de investigación que conlleven al análisis del mercado energético en la sociedad permitiendo una fuente de datos de información eficaz y concisa.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los índices del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Santiago de Cali para relacionar características socioeconómicas y técnicas entre los años 2019 y 2020

3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Organizar una base de datos con información de los consumos de energía y las tarifas de energía eléctrica con información de XM y de la SSPD (Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios) de los años 2019 y 2020 para la ciudad de Santiago de Cali.
- Generar índices a partir de los consumos y las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos y a las unidades de control de pronóstico (UCP) de cada subestación de energía eléctrica.
- Interpretar la información del consumo y las tarifas de energía eléctrica de Santiago de Cali para proveer información para la toma de decisiones de orden energético y de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución CREG 131 de 2020

4. ANTECEDENTES

El estudio de los índices de consumo de energía eléctrica en los diferentes sectores económicos y principalmente residencial de una ciudad es de gran importancia a nivel internacional, nacional y regional. Un ejemplo de esto es el estudio realizado sobre el análisis del consumo energético del sector residencial en España donde su objetivo principal fue la determinación de los parámetros básicos del sector residencial, así como los consumos energéticos globales y segmentados por usos y servicios asociados al sector, y desarrollar una metodología con criterios comunes a nivel europeo para futuras recopilaciones de información además de la generación de información que se segmentó y sistematizó en función de diferentes ámbitos: tipos de alojamientos, zonas climáticas, tipos de servicios, tipos de aplicaciones o usos, etc., para lo cual se tomaron como referencia la recomendación del Grupo Europeo de Trabajo de Estadísticas de Eurostat en cuanto a cobertura de adquisición de datos del sector doméstico para el periodo 1997-2007. La metodología empleada consistió en la combinación de diferentes métodos y fuentes de información, tanto existentes como nuevos, que permitan determinar el consumo del sector residencial mediante un enfoque bottom-up para finalmente dar a conocer los datos obtenidos, en función a la zona climática y al tipo de vivienda de los cuales son los consumos promedios que pudieron generar estos espacios y así satisfacer sus necesidades de la población (IDAE, 2011)

A nivel nacional se encuentra un estudio sobre el pronóstico y análisis del consumo de energía eléctrica en usuarios residenciales de la zona caribe colombiana en la ciudad de Barranquilla, dando a entender que el sector residencial es un sector clave en el contexto energético actual, debido a la importancia que reviste sus necesidades energéticas indicando que su población desconocen el consumo diario que tiene sobre la factura, por ende esta se convierte en la pregunta de investigación del saber de cómo se comporta el consumo de energía eléctrica a lo largo del día en diferentes horas. Por lo tanto, en el estudio diseñaron una metodología para el Análisis del consumo de energía eléctrica en usuarios residenciales de la ciudad de Barranquilla que a su vez permitió realizar pronósticos sobre el comportamiento del consumo energético y así solucionar este problema. Esta metodología consistió en realizar un inventario de los electrodomésticos que se encuentran en las viviendas y el uso en horas a lo largo del día cada día de la semana, con el fin de tener información detallada de los consumos, de esta manera poder permitiendo así conocer el comportamiento del consumo de cada usuario y su perfil de carga, lo cual permite implementar mejoras para incrementar el ahorro energético en la ciudad. (Chavez Martinez, et al., 2020)

Finalmente a nivel local existe un estudio que se asimila a esta investigación. El objetivo principal de esta tesis fue determinar una proyección de demanda en las

subestaciones y alimentadores del sistema de distribución de energía eléctrica de las empresas municipales de Cali (EMCALI), entre los años 1990 a 1995 y así determinaron los planeamientos necesarios como el ensanchamiento de las subestaciones existentes o la creación de las mismas, para la toma de decisiones realizando un historico de la demanda en el sistema para luego así determinar cual fue la zona de influencia de la subestación y sus respectivos alimentadores durante estos mismos periodos de tiempo. (Agudelo Candelo, et al., 1990)

5. METODOLOGÍA

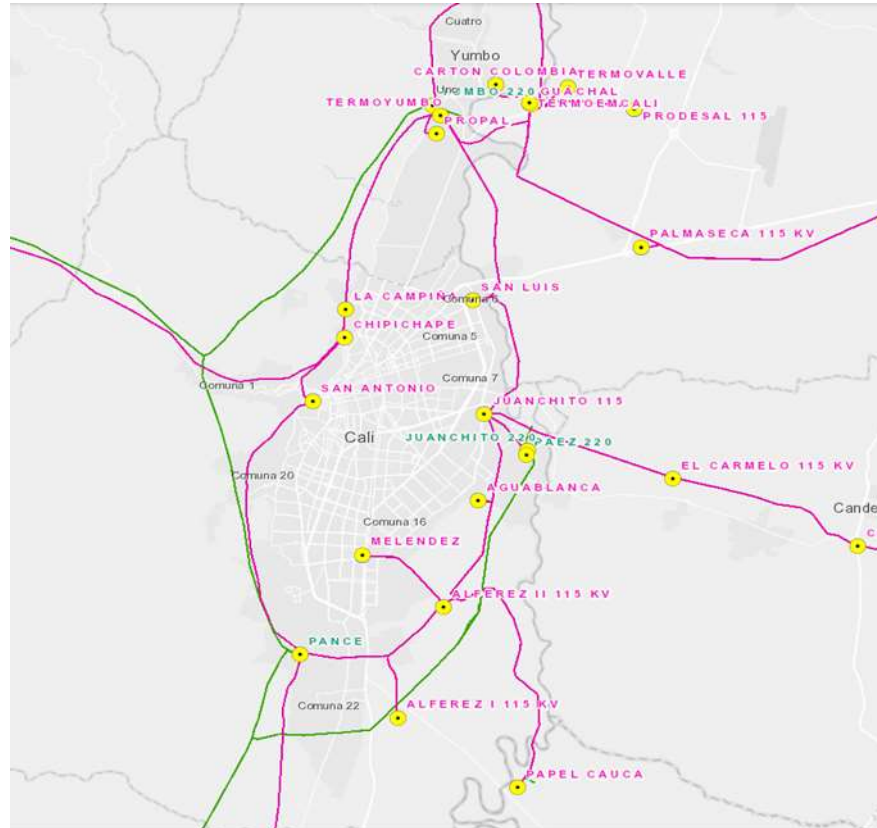
5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Santiago de Cali es la tercera ciudad con mayor cantidad de habitantes a nivel nacional con una cifra 2.227.642 habitantes para el año 2019 (Departamento Administrativo de Planeación, 2019), se encuentra ubicada al sur occidente de Colombia y desde el 2018 fue designada como distrito especial (El Congreso de la Republica de Colombia, 2018), que tiene como objetivo desarrollar e implementar tecnologías que fomenten la economía y desarrollo social para una mejor calidad de vida de los habitantes (El Congreso de la Republica de Colombia, 2013). En cuanto al consumo de energía eléctrica se han implementado tecnologías para el monitoreo y control en tiempo real, uno de ellos es la tecnología AMI (Infraestructura de medición avanzada) y la telemedida, buscando el objetivo principal de la confiabilidad y la precisión de la medida, para así obtener la menor cantidad de pérdidas y control de energía, que será reportada a las entidades de despacho y registro del sistema nacional y/o local.

El área de estudio de la presente investigación se enfoca en el sistema eléctrico de la ciudad de Santiago de Cali, la cual está conformado por una configuración tipo anillo que alimenta un grupo de subestaciones a 115 kV, conformado por las subestaciones Pance, San Antonio (1-2), Chipichape (1-2), La Campiña, Termoyumbo, Guachal, Juanchito, San Luis, Aguablanca, Alférez I y Meléndez, para un total de 13 puntos de análisis, de la presente investigación, cabe resaltar que el operador de red en el nivel de 115 kV es EPSA, y la propiedad de estos activos es compartida por EPSA y EMCALI (EMCALI, 2019). Ver figura 1.

Figura 1.

Subestaciones del área de estudio modificado del portal de CELSIA.



Nota. figura obtenida de Software empresarial de Celsia, plataforma Argis.

De las anteriores subestaciones ya nombradas, están ubicadas de manera geográfica en los bordes limítrofes de la ciudad, cada una con capacidades de operación diferentes, el valor de salida está entre 13.2kV o 34.5 kV.

Los estratos socioeconómicos son aquellos en los que se pueden clasificar residencias y / o propiedades. Hay 6 estratos en total, nombradas de la siguiente manera: 1 Bajo-bajo, 2 Bajo, 3 Medio-bajo, 4 Medio, 5 Medio-alto y 6 Alto. De éstos, los estratos 1, 2 y 3 corresponden a estratos bajos que albergan a los usuarios con menores recursos, los cuales son beneficiarios de subsidios en los servicios públicos residenciales; los niveles 5 y 6 corresponden a estratos altos que residen a los usuarios con mayores recursos económicos, los cuales deben pagar sobrecostos (impuestos) sobre el valor de los servicios públicos domiciliarios. El estrato 4 no es beneficiario de subsidios, ni debe pagar sobrecostos, paga exactamente el valor que la empresa defina como costo de prestación del servicio (DANE, 2020).

5.2 FASES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque mixto (Hernández Sampieri, et ál., 2014) ya que recoge, analiza y relaciona datos cuantitativos como los datos de consumo, tarifas y cualitativos como el estrato socioeconómico y la afectación de consumo de energía eléctrica a causa del Covid -19.

5.2.1 Fase 1: Fase preparatoria (revisión de la literatura)

Esta fase inicial da respuesta a tres intenciones concretas: construir un marco teórico que permita contextualizar la investigación desarrollada, tomar las decisiones en torno al diseño de los instrumentos adecuados al cumplimiento de los objetivos y problema planteados y reflexionar en torno a la evaluación de los índices del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Santiago de Cali para relacionar características socioeconómicas y técnicas entre los años 2019 y 2020.

5.2.2 Fase 2: Sistematización de datos

En esta fase se produce la implementación de dos etapas del diseño de la investigación. Comprende todo el trabajo exploratorio y explicativo que persigue la obtención de datos de acuerdo con los objetivos establecidos dando respuesta al objetivo 1 y 2 (Hernández Sampieri, et al., 2014), buscando balancear la colección sistemática de datos sobre el consumo de energía eléctrica de las unidades de control de pronóstico (UCP) y tarifas energéticas en el sector residencial teniendo en cuenta los estratos socioeconómicos.

La primera etapa de esta fase está orientada a obtener y sustraer información de consumo y tarifa de energía eléctrica mediante diferentes plataformas web, obteniendo como resultado una base de datos .xlsx. No siendo menos importante la revisión bibliográfica como fuente importante de orientación al estudio durante esta primera etapa.

Sobre la base de los resultados de la etapa exploratoria se desarrollará la segunda etapa, que busca clasificar los consumos y las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos y a las unidades de control de pronóstico (UCP) de cada subestación de energía eléctrica e interpretar esta información energética de Santiago de Cali de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución 131 de 2020. Para esto la etapa explicativa incluye, el diseño y proyección de una base de datos para registrar los

resultados de las mediciones en MWh de las subestaciones mediante un análisis estadístico a través del software Python y Microsoft Excel para hacer inferencia sobre las relaciones entre las variables de estudio.

5.2.2.1 Etapa 1: Exploratoria.

Organización de las bases de datos con información de los consumos de energía y las tarifas de energía eléctrica con información de XM y de la SSPD (Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios) de los años 2019 y 2020 para la ciudad de Santiago de Cali.

La metodología empleada para establecer una revisión energética de tarifas y consumo energético de la ciudad de Santiago de Cali, es realizar una recopilación de datos para posteriormente hacer un análisis preliminar de los mismos. Estos datos fueron acumulados diariamente o en su caso de manera mensual por cada una de las entidades como el UCP y la SUI, donde se tomaron registros históricos desde los años 2019 al 2020 de las principales subestaciones que amarran el anillo de la ciudad, por otro lado, se localizan los valores de las tarifas registrados en los diferentes estratos socioeconómicos.

A continuación, se presentan las partes de la recolección y sistematización de los datos:

❖ Parte 1: Obtención de información.

Para el desarrollo de la investigación, se formó en primera instancia en reconocer las variables de estudio que son el consumo (Mw/h) y tarifas de energía (\$/kWh), luego de tener planteado dichas variables se visitan las plataformas de las entidades encargadas de registrar dichos comportamientos, las cuales son XM (<http://www.xm.com.co>). Cuando se indagó acerca de la información de consumo se debe enfocar en los archivos de pronóstico de demanda operativa del SIN definitivos, que son documentos en formato .txt. Los cuales son entregados por los administradores de las UCP, que tienen como fin ser empleados en el Despacho Económico en cada semana comprendida entre el lunes siguiente y el domingo posterior a ese lunes. (Resolución CREG 025 de 1995, Acuerdos CNO 349, 350 y 366) (XM, 2020) estos documentos anteriormente nombrados contienen información muy amplia de cada punto del sistema interconectado nacional llamado *barras*, las que contienen características detalladas de cada lugar en cuanto al

consumo activo, reactivo y perdidas en sufijo de 10e6 (Mega) durante las 24 horas del día.

Al momento de realizar la obtención de información de las tarifas, se examinó la plataforma de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios llamada Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios (<http://www.sui.gov.co/>), luego de ello se debe seleccionar la pestaña de energía, la cual es el área de estudio, después de ello acudimos a la plataforma Bodega de datos de SUI, la cual es una base de datos amplia de la entidad, que permite de manera estratégica crear filtros y lograr obtener la información pertinente de estudio, ya que dentro de esta se pueden ver muchas variables de análisis en cuanto a la demanda como lo son tarifas, suscriptores, subsidios, etc. Para este proyecto, solo se relaciona información de tarifas en la ciudad de Santiago de Cali entre 2019 y 2020, filtrando los siguientes parámetros:

- Tarifas (\$/kWh)
- Número de suscriptores por estrato socioeconómico
- Facturación total (mensual)

❖ Parte 2: Transformación de información.

Para este momento del proceso, se implementa un código en lenguaje Python 3.0, que tiene como propósito depurar información con los datos específicos de la ciudad de Cali y luego ser exportado en archivos de Excel, para este paso se trabajó en un espacio de desarrollo de código de programación abierto multi-lenguaje llamado Jupyter Notebook, el cual viene incluido dentro del paquete de Anaconda, las cuales son extensiones de programación del lenguaje Python 3.0.

A continuación, se presenta las especificaciones del código implementado:

En la primera fila se hizo uso de la herramienta *pandas*, la cual es un kit de lenguaje Python, que permite analizar diferentes formatos de archivo y formar tablas de datos completa en una matriz de matriz Numpy (Educative, 2020) cómo se observa a continuación:

```
import pandas as pd
import numpy as np
```

Posteriormente se declara la variable de acuerdo al día calendario que se está analizando *dPRONL* y del archivo que se esté filtrando "llamando", que es aquel archivo .txt que brindo la UCP, con esto se estableció los títulos de la matriz, con los parámetros de datos que se necesitaban únicamente, los cuales son la ciudad, la subestación, la energía activa y sus 24 registros horarios en el dicho día, con la condición de que la información se separa con coma, una de las condiciones de la extensión CSV cómo se observa a continuación:

```
dPRONL      =      pd.read_csv('PRON_BARRA0921.txt',      sep=',',
header=None,  names = ['UCP','Barra', 'n', 'Energia', '1', '2',
'3', '4', '5','6', '7', '8','9', '10','11', '12', '13','14',
'15','16', '17', '18','19', '20', '21','22', '23','24'] )
```

La siguiente línea puede ayudar a ver en donde están los posibles errores en los archivos de texto dado que cambia el tipo de datos de la última columna, ya que muchos de los archivos .txt brindados por la plataforma de UCP presentaban errores y al trabajar con información numérica es necesario la veracidad y mermar el margen de error cómo se observa a continuación:

```
dPRONJ['24'] = dPRONJ['24'].astype(float).round(2)
del dPRONL['n']
```

La anterior línea ayuda a prescindir dicha columna n sin valor significativo en el txt permitiendo pulir la información en el desarrollo artificial del código.

```
dPRONDCali=dPRONL[dPRONL['UCP'].str.contains('Ucali',
na=False)]
dPRONDCali=dPRONDCali[dPRONDCali['Energia'].str.contains('Ener.Ac
t', na=False)]
dPRONDCali = dPRONDCali.set_index('Barra')
dPRONDCali.loc['Total', 2:26,] = dPRONDCali.sum(axis=0)
dPRONDCali = dPRONDCali.T
dPRONDCali.to_csv('Sept2120.csv',      decimal=',',      sep=';',
float_format='%.2f',encoding = 'utf-8')
```

La anterior estructura de código, se observa una fila, que permite realizar una sumatoria del consumo registrado en el día por cada *UCP*, con el fin de obtener un dato extra, que puede ser tomado como rango de estudio general frente a cada día en el análisis. Además de que el código permitió de manera correcta sustraer los datos necesarios y útiles de esta investigación finalmente arrojarla en un archivo en formato .CSV cómo se observa en las líneas de código anterior.

❖ Parte 3. Tratamiento de la información y descarga

Para el caso de la extracción de información de las tarifas de consumo energético se filtró los parámetros necesarios como el periodo (2019-2020), la ciudad (Santiago de Cali), la Tarifa (\$/kWh), el Número de suscriptores por estrato socioeconómico y Facturación total (mensual) en su plataforma, luego de ello el aplicativo mostrará en manera de tablas la información seleccionada, con ello se procede a descargar mediante el icono de exportar planilla, la cual permite trabajar la información en Microsoft Excel.

5.2.2.2 Etapa 2: Explicativa

Para esta etapa se exponen las diferentes técnicas realizadas para el análisis de los datos de consumo y tarifa de energía eléctrica a través de la estadística descriptiva para los datos cuantitativos.

❖ Técnica máximo y mínimos

La segunda etapa estuvo orientada a obtener una comprensión de los datos obtenidos sobre la base del consumo de energía eléctrica para la ciudad de Cali principalmente mediante la técnica nivel máximo y mínimo por cada subestación/año correspondiente. (Usc, 2013)

$$\min \{x_1, \dots, x_n\} \leq \bar{X} \leq \max \{x_1, \dots, x_n\}$$

❖ Técnica de función lógica

Esta técnica se implementó en el software en Excel con la función **+Y** que es una función lógica que permitirá evaluar varias expresiones lógicas y saber si todas ellas son verdaderas. Será suficiente con que cualquiera de las expresiones sea falsa para que el resultado de la función también sea falso, con ello demostró si la medida de consumo subió o bajo para los datos de UCP de los años 2019 y 2020.

❖ Técnica Numero Índice Simple

El número índice es un recurso estadístico para medir diferencias entre grupos de datos. Un número índice se puede construir de muchas formas distintas según el

investigador, este caso se aplicó para la base de datos de las tarifas de energía eléctrica por estrato socioeconómico de la unidad residencial de la ciudad de Cali. Para la magnitud Y , el índice simple corresponde al periodo t (2020), tomando como base el periodo 0 (2019) (Hernández Martín, 2012; ICANE, 2011) así:

$$I_{t/0} = I_0^t = \frac{Y_t}{Y_0} \times 100$$

5.2.3 Fase 3: Analítica

Esta fase está encaminada al cumplimiento del objetivo 3 donde se Interpretó la información del consumo y las tarifas de energía eléctrica de Santiago de Cali para proveer información para la toma de decisiones de orden energético y de acuerdo a las perspectivas y esquemas de medición avanzada del proyecto de Resolución CREG 131 de 2020.

5.2.4 Fase 4: Informativa

Es la fase que durante el proceso de investigación culmina con la presentación y difusión de los resultados.

6. RESULTADOS

6.1 BASES DE DATOS DE CONSUMOS DE ENERGÍA Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON INFORMACIÓN DE XM Y DE LA SSPD (SÚPER INTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS) DE LOS AÑOS 2019 Y 2020 PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

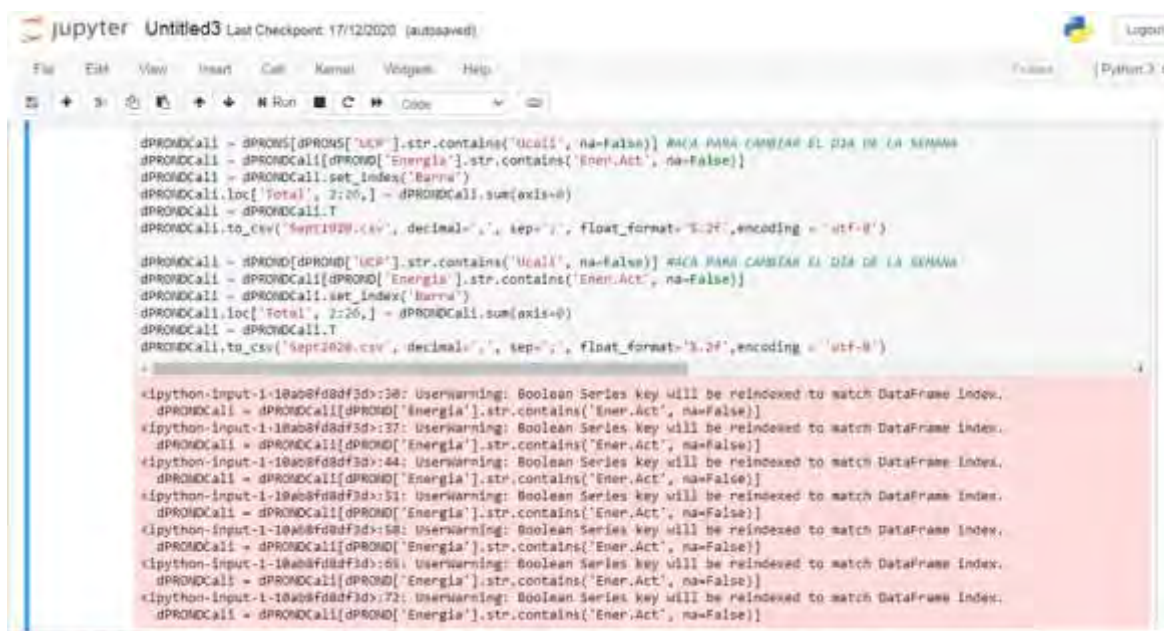
6.1.1 Base de datos No 1 consumos de energía eléctrica.

Las bases de datos constituyen un sistema de proceso de datos cuyo objetivo básico es el de conservar información y mantenerla disponible para su acceso de forma eficiente. El interés del investigador por la información contenida en una base de datos es debido, normalmente, a su significación en los procesos de toma de decisiones en las variables de estudio.

Para tal motivo, el lenguaje Python 3.0 permitió el procesamiento de estos datos por poseer una versión gratuita con código abierto para lograr la conexión con la base de datos, se necesitó los parámetros importantes como, ciudad, energía activa y total por fracción de hora de las 24 horas del día para la base de datos No. 1 sobre los consumos de energía.

Figura 2.

Generación de csv mediante código Python del consumo eléctrico.



```
jupyter Untitled3 Last Checkpoint: 17/12/2020 (autosaved)
File Edit View Insert Cell Kernel Help
Run Code

dPRONDCall = dPROND[dPROND['UCP'].str.contains('Ucall', na=False)] #ACA PARA CAMBIAR EL DIA DE LA SEMANA
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
dPRONDCall = dPRONDCall.set_index('Barra')
dPRONDCall.loc['Total', 2:26,] = dPRONDCall.sum(axis=0)
dPRONDCall = dPRONDCall.T
dPRONDCall.to_csv('sept1929.csv', decimal=',', sep=';', float_format='%.2f', encoding = 'utf-8')

dPRONDCall = dPROND[dPROND['UCP'].str.contains('Ucall', na=False)] #ACA PARA CAMBIAR EL DIA DE LA SEMANA
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
dPRONDCall = dPRONDCall.set_index('Barra')
dPRONDCall.loc['Total', 2:26,] = dPRONDCall.sum(axis=0)
dPRONDCall = dPRONDCall.T
dPRONDCall.to_csv('sept2020.csv', decimal=',', sep=';', float_format='%.2f', encoding = 'utf-8')

<ipython-input-1-10a08f08df3d>:30: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:37: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:44: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:51: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:58: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:65: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
<ipython-input-1-10a08f08df3d>:72: UserWarning: Boolean Series key will be reindexed to match DataFrame index.
dPRONDCall = dPRONDCall[dPROND['Energia'].str.contains('Ener.Act', na=False)]
```

Después de haber logrado con éxito la conexión con el servidor, se revisa, compara y registra los 7 archivos .csv que corresponde a la semana de cada mes seleccionado que arroja el código Python, como se podrá observar en la figura 2. La base de datos contendrá por hoja los consumos por mes del año 2019 y 2020 por cada una de las 13 subestaciones que registra el anillo de alimentación de la ciudad de Cali por las 24 horas del día.

6.1.2 Base de datos No 2 Tarifas de energía eléctrica.

Para la elaboración de la base de datos se fijó un filtrado especial en cada uno de los parámetros que se necesitaron para esta investigación (¹ *aplicación del filtro de medida deseada*), donde el volumen de la información mermo con respecto a las variables de tiempo “2019 / 2020”, ubicación “Cali”, medidas “Valor facturado por Kw consumido \$/kWh” y cantidad de suscriptores. Para la descarga y tabulación de los datos suministrados por el aplicativo se utilizó la herramienta exportación de planilla en formato .xlsx (² *Icono de descarga a archivo .Excel*) que permitió la modificación de la base de datos a beneficio del estudio. Ver figura 3.

La base de datos No 2 corresponde a las tarifas de consumo eléctrico de forma general y por estrato socioeconómico (1 al 6) de la ciudad de Cali para su posterior análisis gráfico. Ver figura 4.

Figura 3.

Aplicativo para la descarga de tarifas de energía eléctrica.

ESTRATO	MERCADO	VALOR	TIEMPO
ESTRATO	Mercado	USD	Mes
			ener / 2019
			feb / 2019
			mar / 2019
			abr / 2019
			may / 2019
			jun / 2019
			jul / 2019
			ago / 2019
			sep / 2019
			oct / 2019
			nov / 2019
			dic / 2019
			ene / 2020
			feb / 2020
			mar / 2020
			abr / 2020
			may / 2020
			jun / 2020
			jul / 2020
			ago / 2020
			sep / 2020
			oct / 2020
			nov / 2020
			dic / 2020

Base de datos de las tarifas eléctricas de la ciudad de Cali.

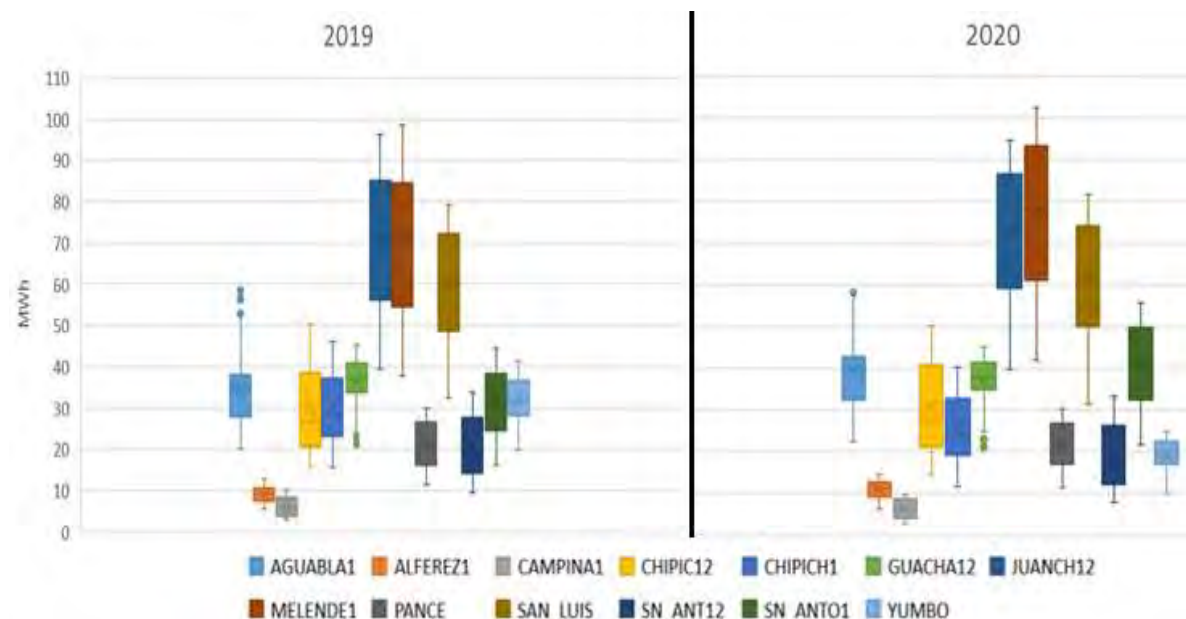
6.2 ÍNDICES DE LOS CONSUMOS Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ACUERDO A LOS ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS Y A LAS UNIDADES DE CONTROL DE PRONÓSTICO (UCP) DE CADA SUBESTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Una de las principales acciones para conocer los beneficios reales relacionados con la implementación de medidas de eficiencia energética es la medición de las variaciones de consumo de una determinada subestación. En este sentido, es importante tener en cuenta que los ahorros energéticos pueden ser traducidos a una economía en un determinado lugar (Jara, 2012). Pero para llegar a efectuar una medición eficaz, es importante considerar los siguientes aspectos en el proceso. Conocer cuánta energía se consume en un período determinado, por lo general, en un ciclo de uso (día), identificando aquellos puntos de referencia que tienen un mayor consumo dentro de la ciudad. A partir de ese diagnóstico se podrán implementar medidas tendientes a reducir el consumo energético en un caso.

Para la ciudad de Santiago de Cali es indispensable conocer el consumo energético en las diferentes fuentes de distribución eléctrica ya que permitirá un conocimiento más amplio para la toma de decisiones lo que sirve como espejo para interpretar el comportamiento de su economía. El análisis de grafico indica que para el mes de enero los consumos de energía de los años 2019 y 2020 se mantienen con un máximo de 96 a 102 MWh para la subestación Juanchito y Meléndez, cabe resaltar que el año 2020 tuvo un alza mayor de consumo con respecto al año 2019. (Ver figura 5)

Figura 5.

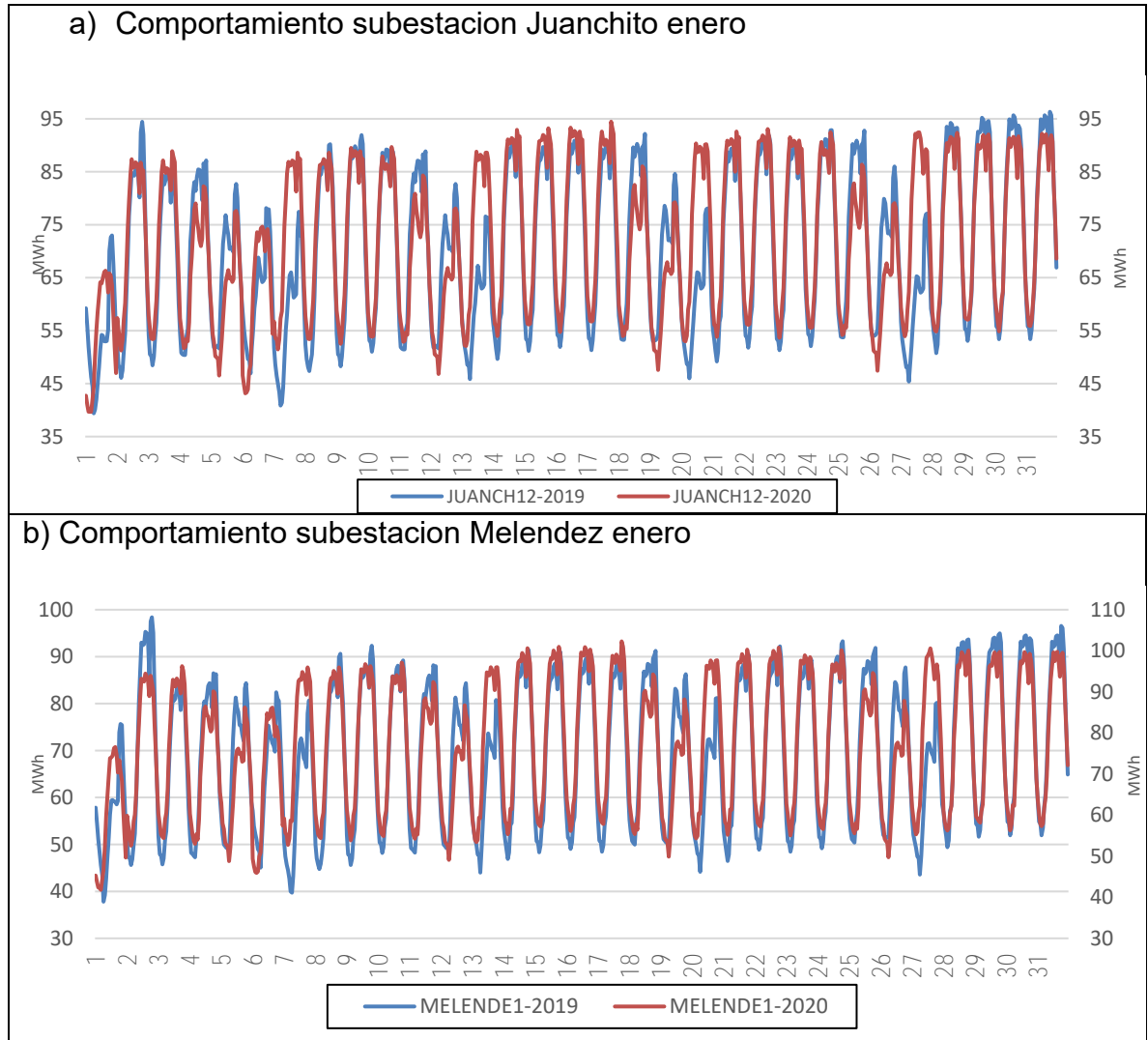
Consumo del mes de enero por subestación año 2019 y 2020.



La técnica del máximo y mínimo permitió identificar que para el mes de enero del 2019 en la subestación Juanchito obtuvo un consumo máximo de 96.32177 y 94.461894 MWh en el 2020, de igual manera la subestación Meléndez tuvo un registro máximo de 98.38438 para el 2019 y 102.298554 MWh en el 2020 permitiendo identificar la conducta de sus valores, resaltando que la subestación Meléndez mantuvo su tendencia en sus consumos. (Ver figura 6).

Figura 6

Consumo de energía mes de enero 2019 -2020. a) subestación Juanchito 2019 – 2020 b) Subestación Meléndez 2019 -2020



Para el mes de febrero el máximo consumo de energía fue en la estación Juanchito con un valor 98.98195 MWh en el 2019 y en el 2020 de 93.296836 Mw/h, para la estación Meléndez en el 2019 es de 98.1624 MWh frente al 2020 con un valor superior a todas las subestaciones de 101.0637 MWh se resaltan estas dos subestaciones ya que en sus consumos registrados presentan los valores más significativo en comparación a las 11 subestaciones del estudio, sin dejar a un lado que la subestación san Luis presenta un máximo de consumo en el 2019 de 80.7884 MWh y en el 81.1054, en otra instancia es importante detallar que la subestación

que menos registro consumo para el 2019 fue la campaña con un de 9.83 MWh y en el 2020 de 9.421621 Mw/h. (Ver figura 7a).

Para el mes de marzo igualmente se conserva la tendencia del análisis de gráficos desde el mes de enero a marzo en los dos periodos de tiempo, resaltando que para marzo el máximo consumo lo obtuvo la subestación Meléndez y en posición semejante con la subestación Juanchito con un valor 101.3918 y 101.1921 MWh en el año 2019 y para el 2020 fue de 103.1343 y 95.23364 MWh respectivamente. (Ver figura 7b).

Figura 7.

Consumo de energía año 2019 y 2020. b) Febrero b) Marzo

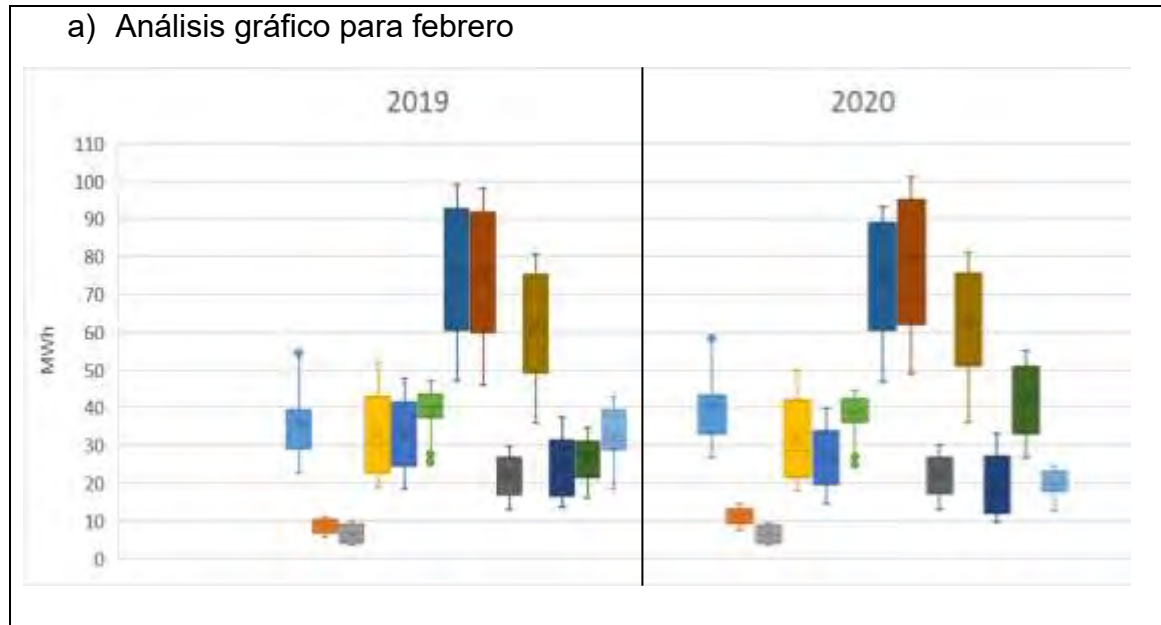
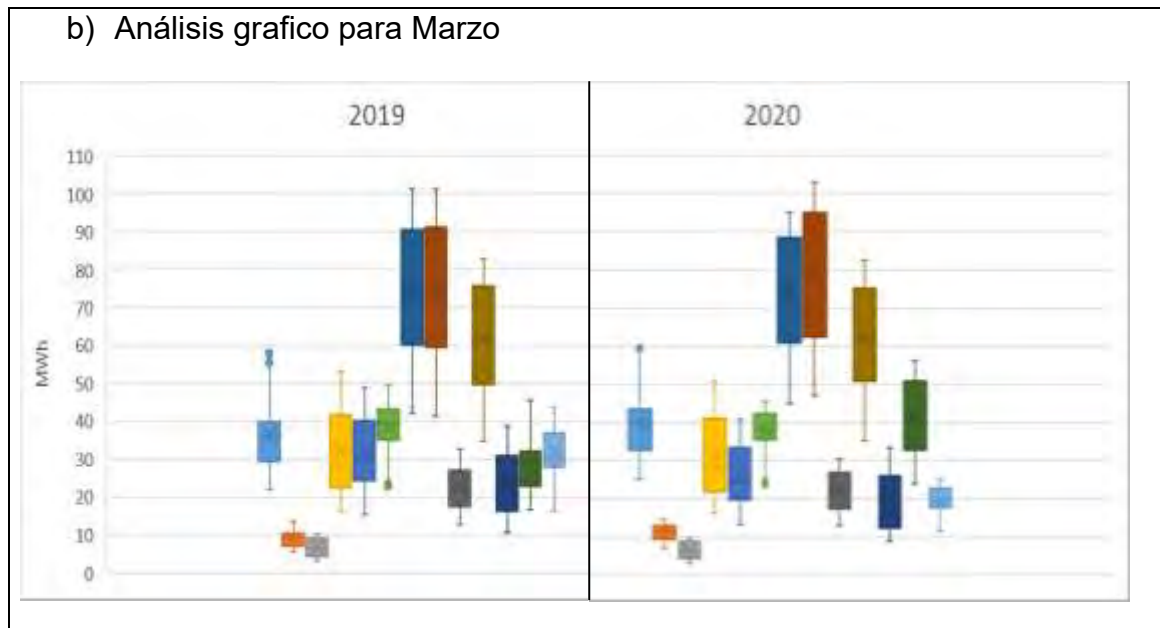


Figura 7 (Continuación)

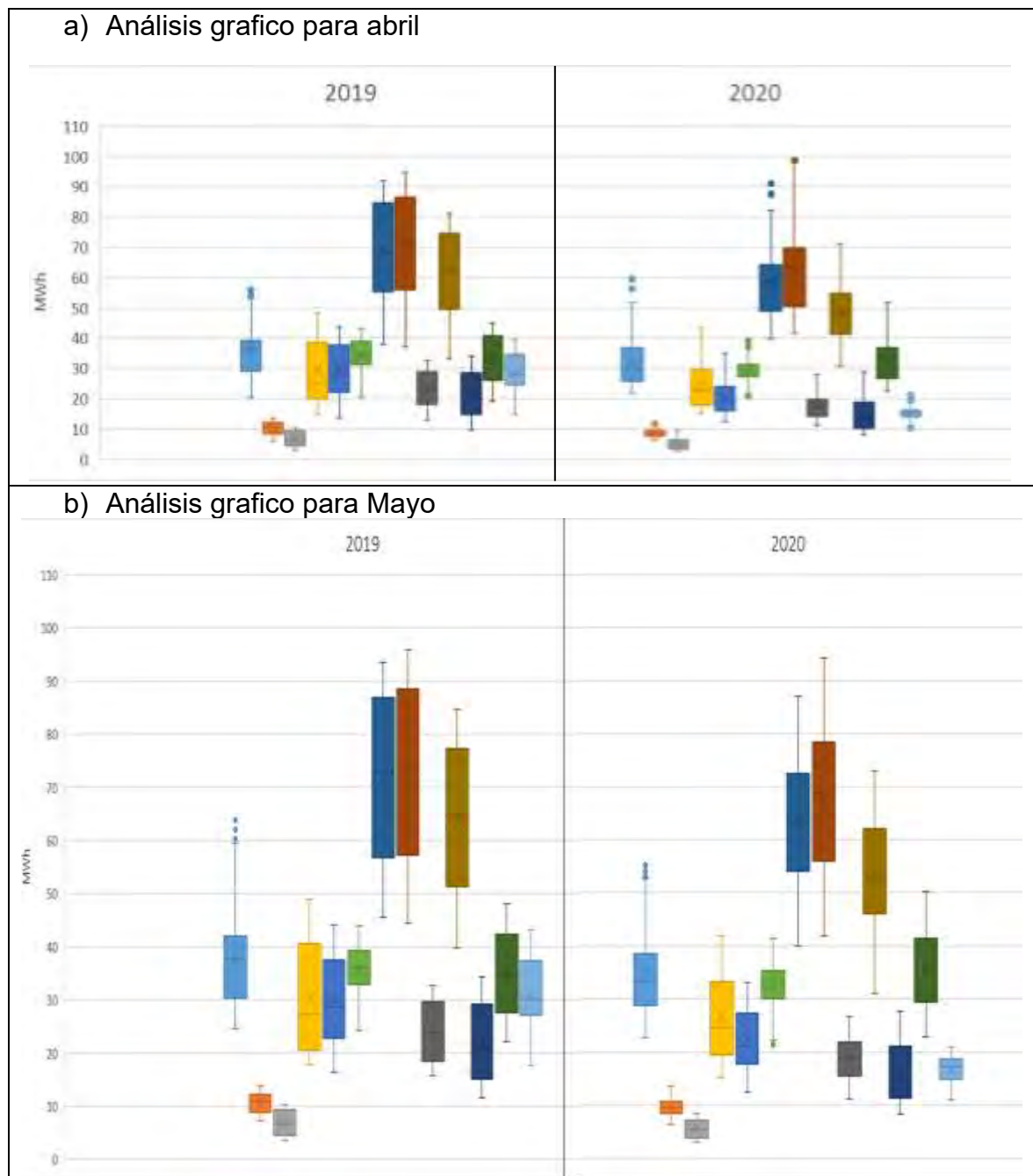


Es importante mencionar que los meses de enero, febrero y marzo de los periodos 2019 y 2020 tienden a conservar su comportamiento, no cambia drásticamente en las 13 subestaciones eléctricas que abarcan el anillo de amarre de la ciudad de Cali, aunque se haya presentado a mediados de marzo del 2020 la cuarentena en el país a causa del Covid -19.

Para los meses de abril y mayo la tendencia del consumo de energía eléctrica en la ciudad para los periodos, bajo relativamente en comparación a el primer trimestre y al mes de junio del 2019 y 2020. En abril del 2019 el pico más alto lo obtuvo la subestación Meléndez con 94.6746 MWh y en el 2020 con un valor de 98.621753 MWh. La estación Juanchito sigue en el segundo lugar con un consumo de 91.8997 MWh para el 2019 y para el 2020 de 91.5804 MWh (Ver figura 8a). Para mayo el máximo consumo nuevamente lo obtiene la estación Meléndez con un valor de 97.9265 MWh en el 2019 y 94.337311 MWh en el 2020, seguidamente de la estación Juanchito con valores de 93.42887 y 87.087396 MWh para los años 2019 -2020, aun la estación campaña mantiene su mínimo consumo para los meses y años mencionados anteriormente. (Ver figura 8b)

Figura 8.

Consumo de energía año 2019 y 2020. b) Abril b) Mayo

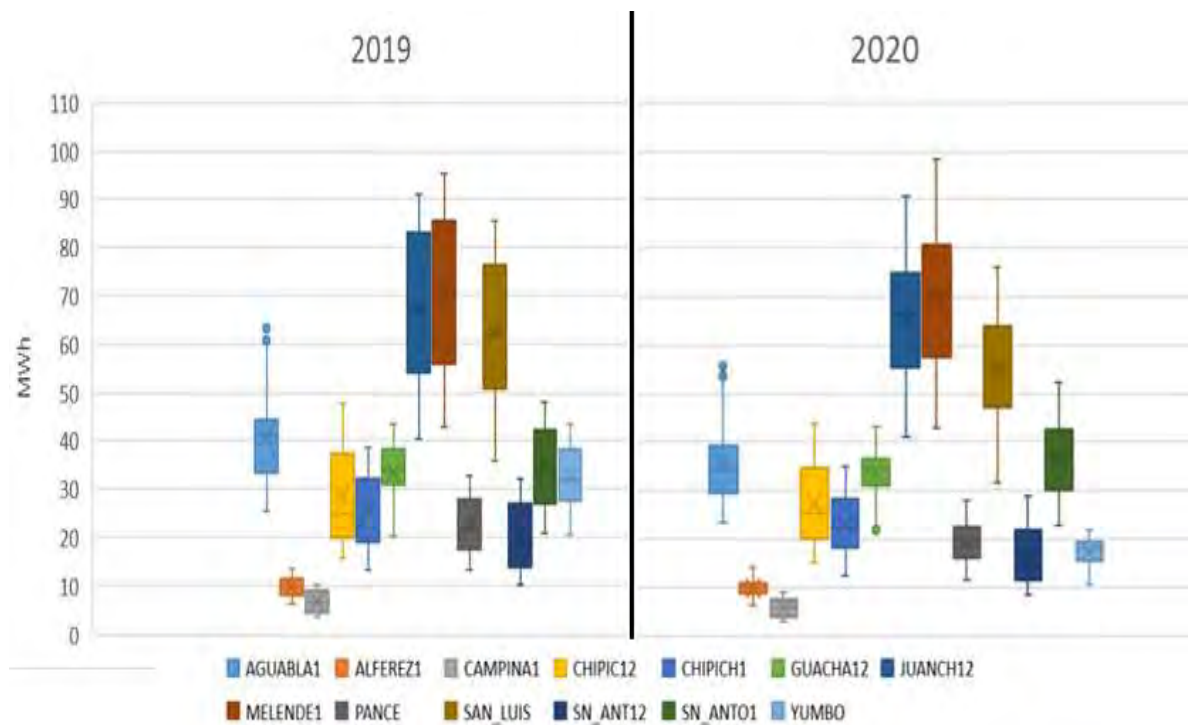


Por otra parte, la afectación de mayor impacto en los meses de abril y mayo que fue el desarrollo estricto de la cuarentena a causa de la pandemia del Covid -19, según

los análisis estadísticos se evidencio que el consumo de energía eléctrica abarcando las 13 subestaciones que alimentan la ciudad de Cali para el 2020 no hubo un incremento significativo con el año base 2019 en el consumo de la energía eléctrica de la ciudad.

Figura 9.

Consumo del mes de junio por subestación año 2019 y 2020.



La subestación de Meléndez para el periodo de junio del 2020 se presentó un acrecimiento en comparación al mes anterior del mismo año, con un registro de 98.373132 y mayo con 94.337311 MWh del 2020. Lo que indica que este aumento se debió a las aperturas graduales de los diferentes sectores económico que permitió que parte de la población retomaran sus actividades, de igual manera la subestación Juanchito aún conserva su segundo nivel de consumo de las 13 subestaciones debido a que alberga la alimentación de gran parte de la población caleña, pero bajo su consumo en junio del 2020 a comparación del año 2019. (Ver figura 9)

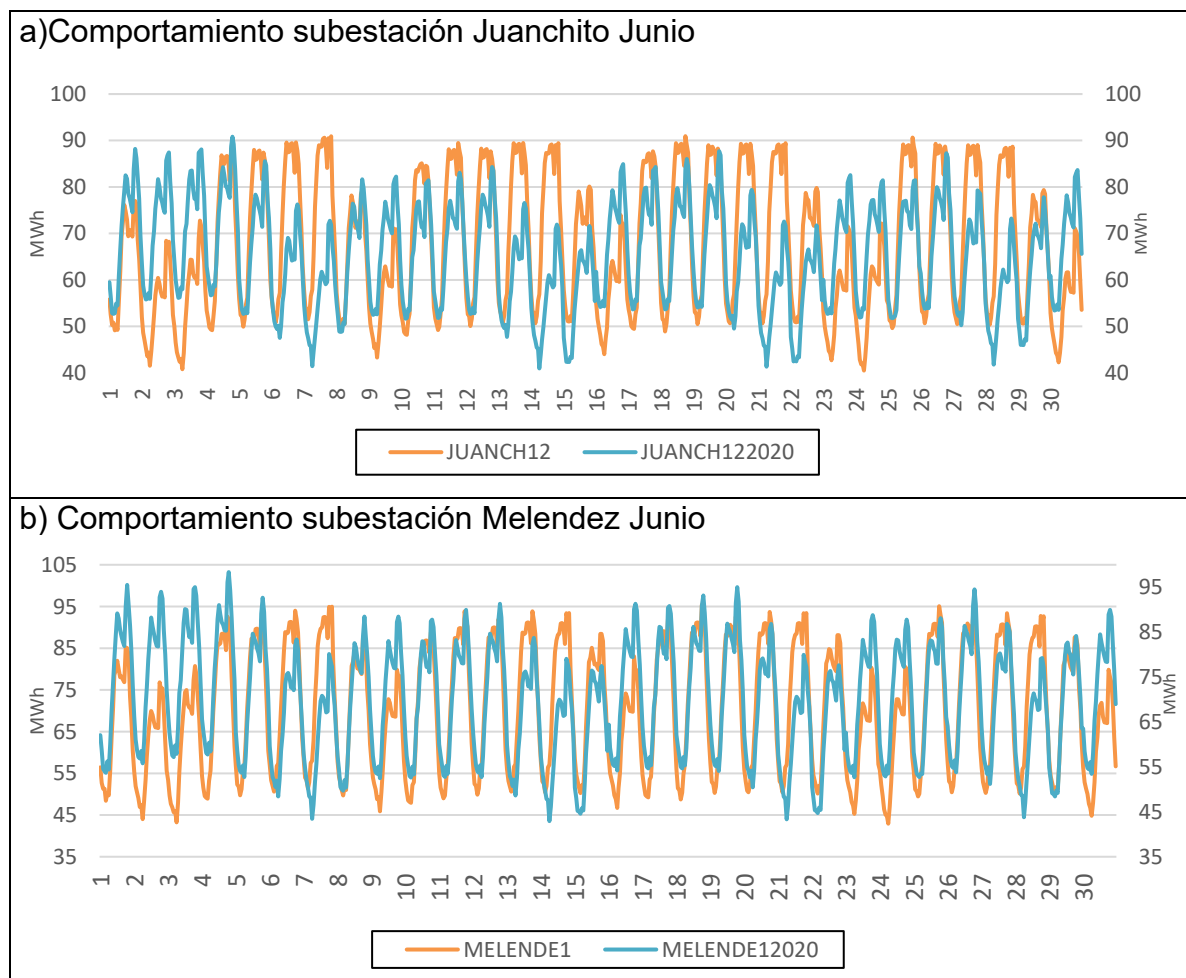
Así mismo junio del 2019 registro alzas representativas de consumo de energía eléctrica en todas las 13 subestaciones a diferencia del resto de los meses pasados, pero en el 2020 no sigue esta misma tendencia se evidencia una baja en el consumo

de las subestaciones eléctricas, resaltando que aun puntea independientemente del fenómeno la estación de Meléndez con los picos más altos y seguidamente la estación Juanchito que tuvo una baja en el 2020, se mantiene la estación campiña con los rangos mínimos de consumo para estos meses y años.

El comportamiento de la subestación Meléndez y Juanchito conservan su tendencia en los niveles de curva de sus consumos denotando que el 2019 conserva los consumos más altos con respecto al año 2020. (Ver figura 10)

Figura 10.

Consumo de energía mes de junio 2019 -2020. a) subestación Juanchito 2019 – 2020 b) Subestación Meléndez 2019 -2020.

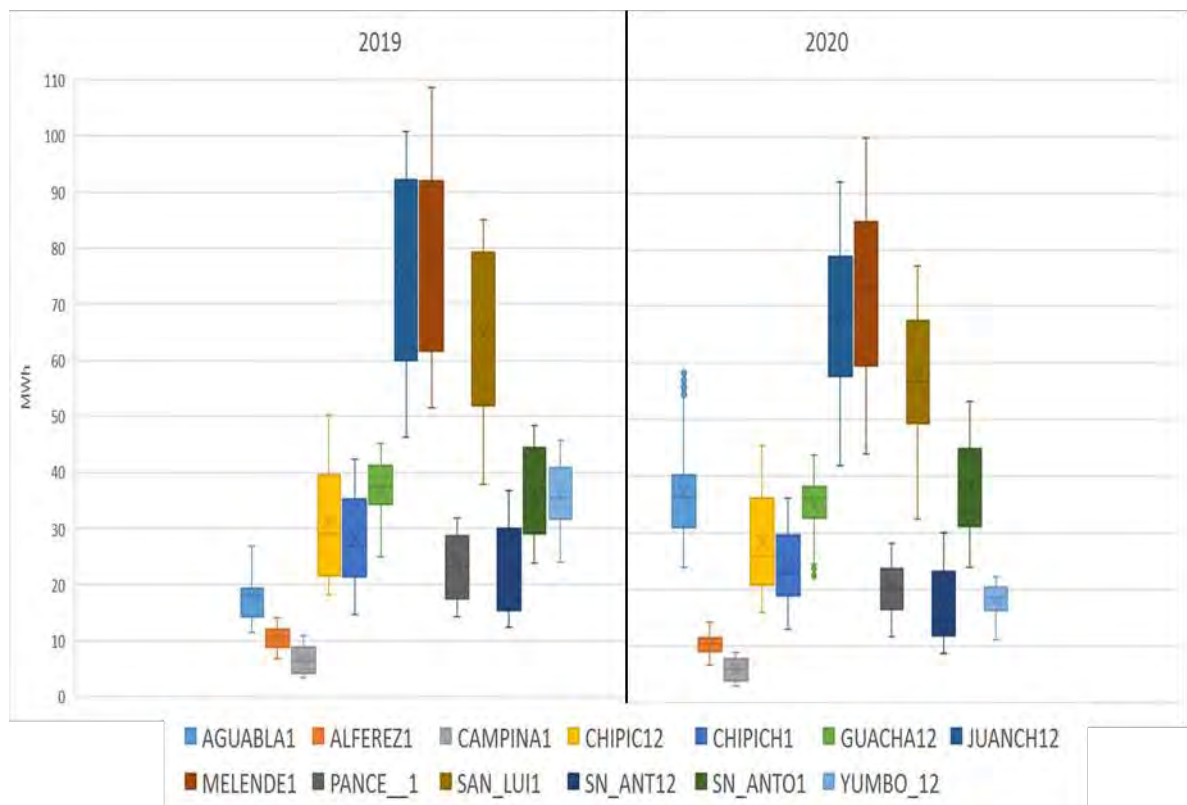


Al iniciar el segundo semestre del año 2019 se identificó que las subestaciones de mayor consumo Meléndez y Juanchito se aproximan a los datos de 103.09384 y 99.16428 MWh del mes de julio, para el 2020 su consumo fue de 98.54291 y 90.968296 MWh respectivamente, indicando que bajo sustancialmente de un año a otro en estas mismas estaciones, cabe resaltar que una estación que sobresalió en el análisis grafico fue la estación Aguablanca que durante este mes y en el año 2020 tuvo aumento sustancial 57.75645 MWh a diferencia del resto de meses anteriores del 2020. Finalmente se conserva la estructura grafica de consumo de energía para las subestaciones estudiadas.

El análisis grafico de comportamiento de consumo eléctrico para el mes agosto del 2019 – 2020 se evidencia, que de las 13 subestaciones solamente 2 de ellas (Aguablanca y san Antonio 1) tuvieron una tendencia ascendente, sin embargo, el mes de agosto mantiene la misma estructura de los mismos periodos, que, aunque la subestación de Meléndez y Juanchito tienen el máximo consumo no tuvieron alzas significativas como las otras dos subestaciones anteriormente mencionadas. (Ver figura 11)

Figura 11.

Consumo del mes de agosto por subestación año 2019 y 2020.



El 2019 y 2020 del mes de septiembre se comporta de manera similar a los anteriores meses y periodos, donde la subestación Meléndez y Juanchito conservar los mayores consumos, pero no tuvieron alzas significativas de consumo lo cual indica que para el último trimestre de los años se conserva esta tendencia.

Octubre, noviembre y diciembre que son el último trimestre del año tienen a seguir el mismo patrón grafico de máximo y mínimos. Para el 2019 en octubre la mayor subestación de consumo lo obtuvo Meléndez con un valor de 104.22902 MWh, en noviembre con 104.58 MWh y diciembre 105.52012 MWh. Para el octubre del 2020 se mantuvo con un valor de 102.40895 MWh, noviembre de 101.90448 MWh y diciembre 104.9313 MWh, de marcando así que sus rangos de valores no sufren cambios drásticos haciendo que el año 2020 tuviera descendencia mínima a diferencia del 2019 en el último trimestre. (Ver figura 12)

Figura 12.

Consumo de energía año 2019 y 2020. a) Octubre b) Noviembre c) Diciembre

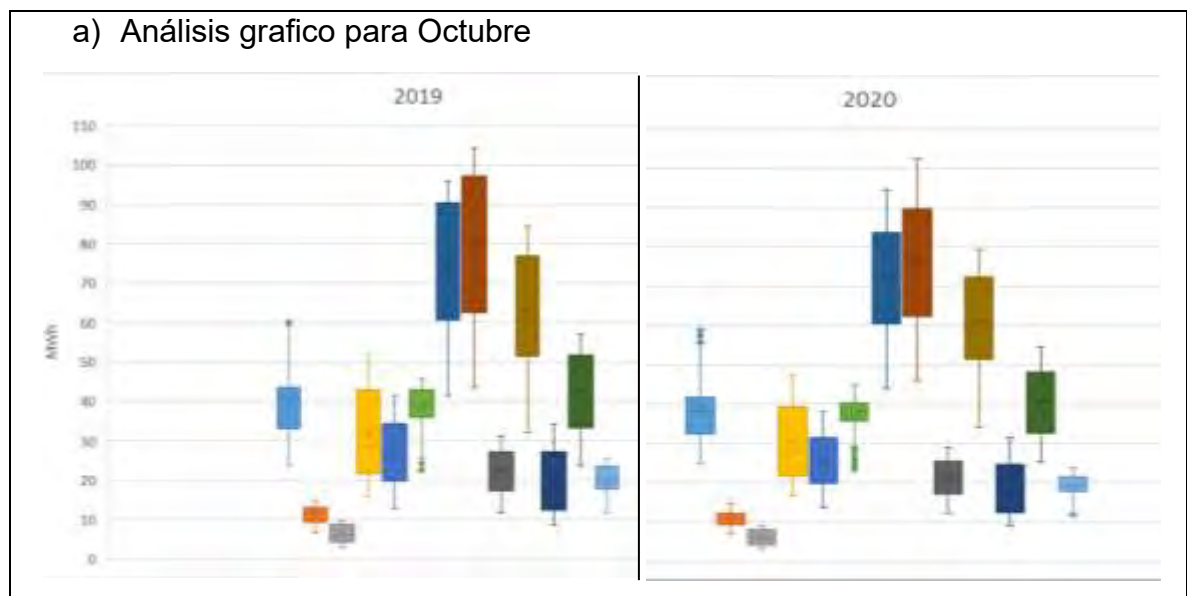
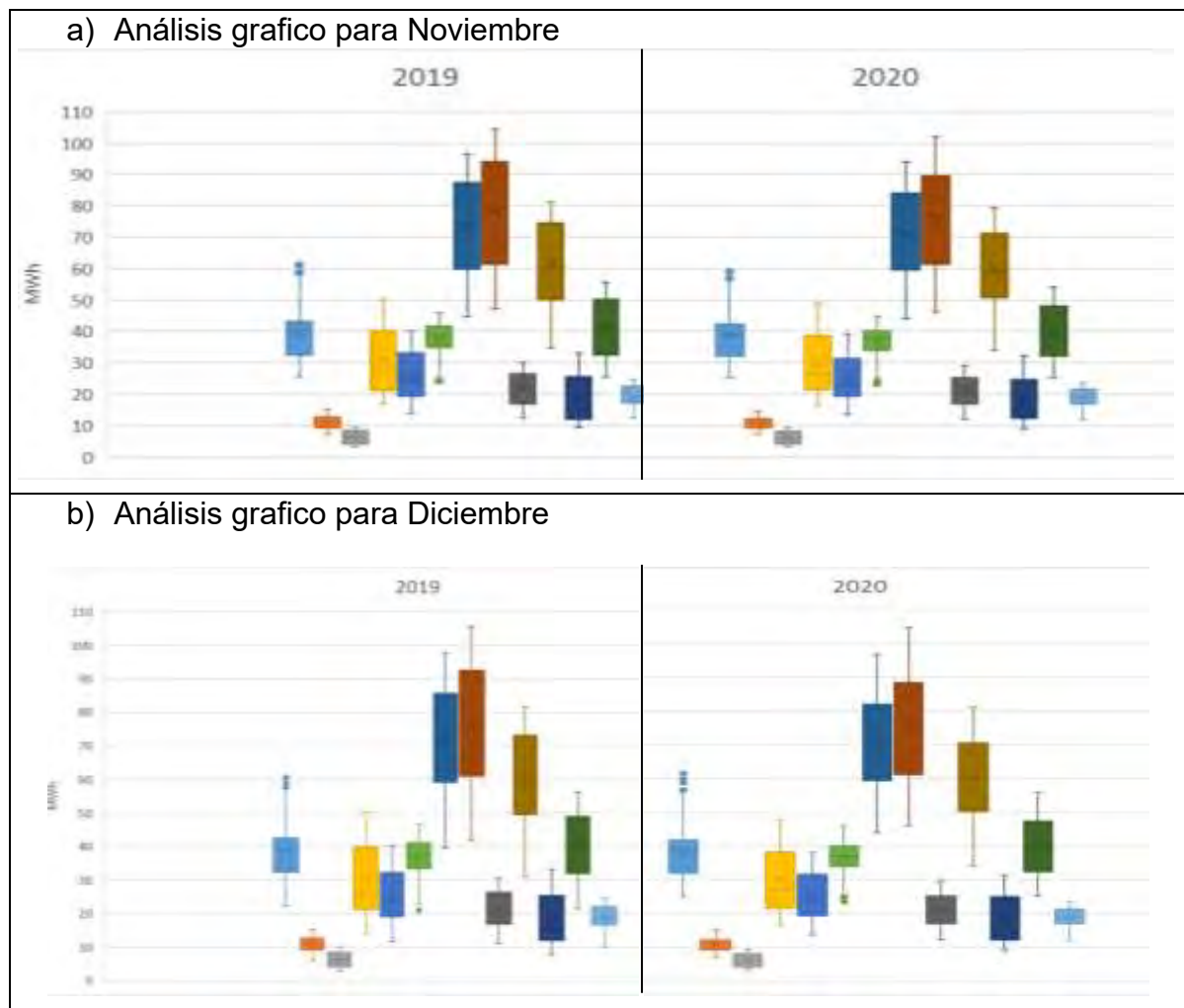


Figura 12. (Continuación)



De esta manera es importante recalcar que durante el análisis grafico se detectó que la subestación Yumbo en el año 2020 durante todos sus meses, presento comportamiento descendente abrupto a diferencia del 2019, esto puede deberse al cierre forzado de algunas actividades no principales en los establecimientos, uno de los motivos fue la bioseguridad entre sus empleados producido por el virus del COVID-19, logrando que trabajaran desde casa (teletrabajo), teniendo cierres parciales en producción, como se evidencia en las siguientes graficas divididas por 4 meses de mayor impacto en el año 2020, donde se logra detallar el periodo de transición de la pandemia y el comportamiento descendente hasta finales donde nuevamente se permitió la apertura de gran parte de sectores comerciales a nivel nacional. (Ver figura 13)

Figura 13.

Tendencias mensuales del consumo energético de la subestación Yumbo de 2019-2020. a) enero b) abril c) agosto d) diciembre

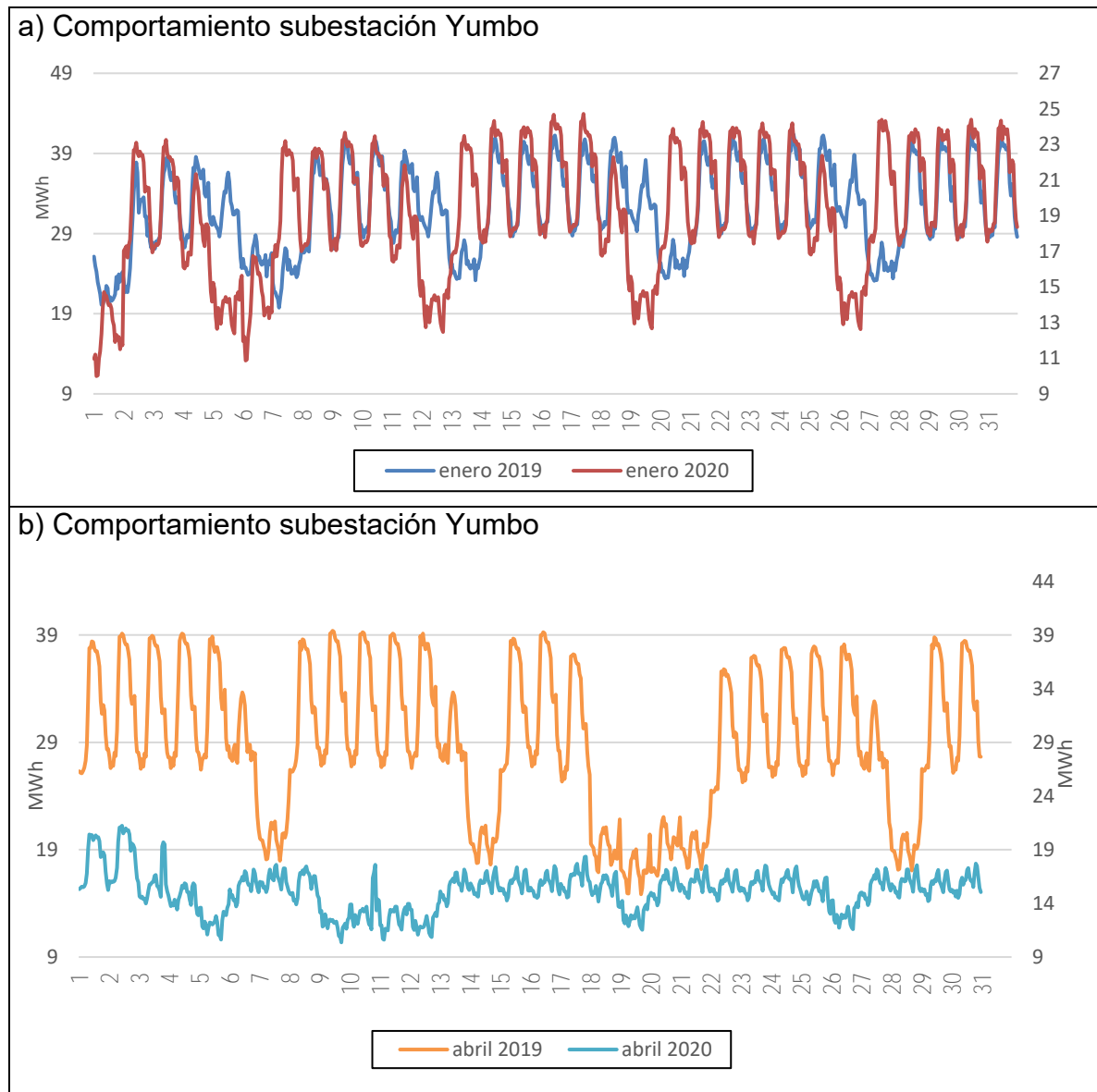
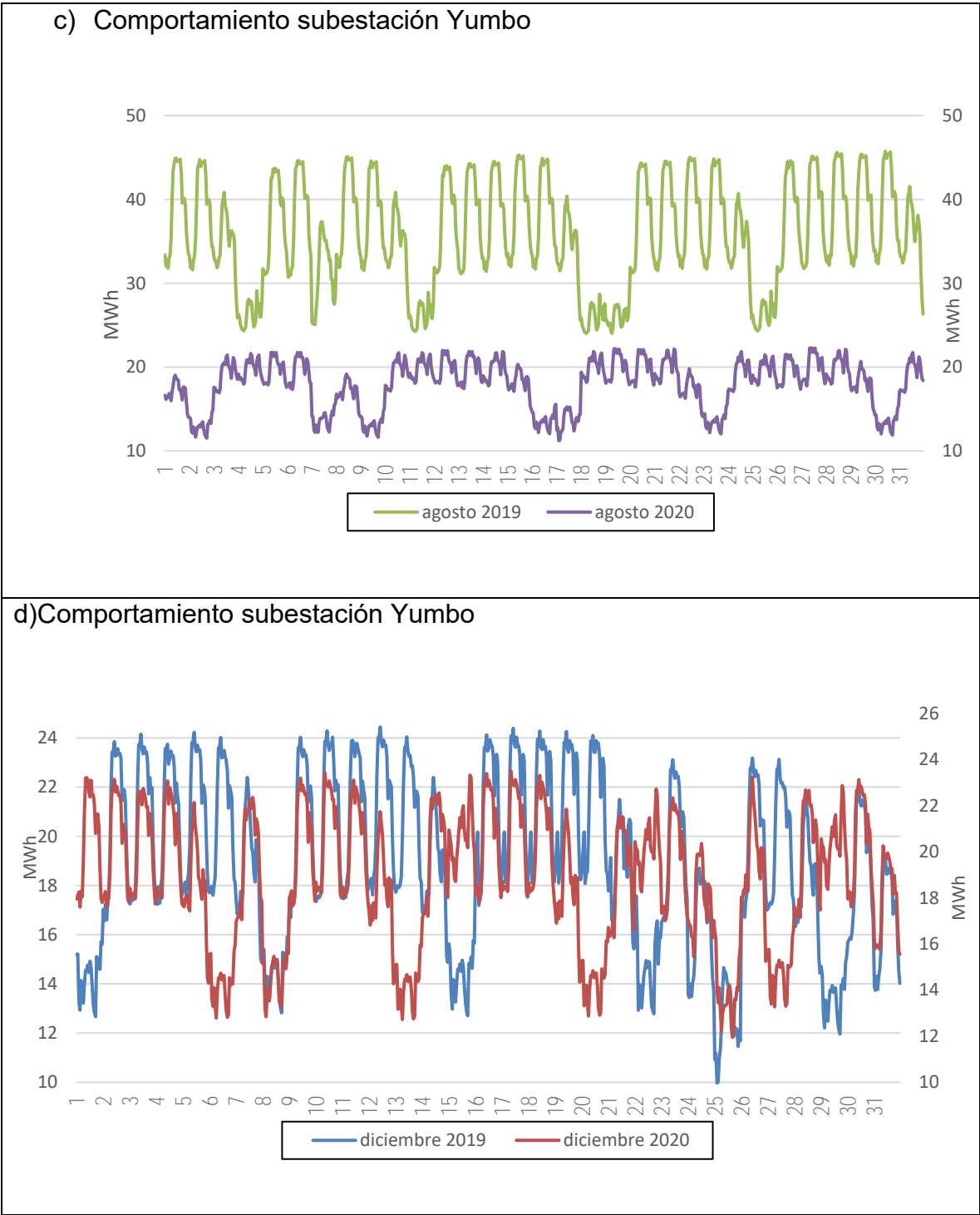


Figura 13. (Continuación)



6.2.2 Índice de consumos de energía eléctrica de las unidades de control de cada subestación de energía eléctrica.

Se hace necesaria la construcción e implementación de índices de consumo de energía eléctrica que involucraron las principales variables de los consumos energéticos para las unidades de control de cada subestación de la ciudad de Cali, con el fin de evaluar e identificar de manera continua las subestaciones que presentaron mayor consumo en los años 2019 y 2020.

El análisis gráfico y caracterización energética de cada subestación de la ciudad de Cali permitió definir los índices propios por cada mes por subestación. Estos análisis sirven como base de comparación y monitoreo para controlar y/o reducir las pérdidas energéticas de las distintas UCP de la ciudad.

El índice de energía eléctrica para el mes de enero teniendo como base el año 2019 tuvo una reducción prudencial en las 10 de las 13 subestaciones con respecto a enero del 2020, observando que la subestación yumbo presento el mayor índice de consumo con el 167.09 % y la subestación Chipichape 1 obtuvo una cifra del 117.11% indicando que estos consumos fueron superiores al año base. (Ver figura 14)

Figura 14

Índice de consumo energético mes de enero 2019-2020.

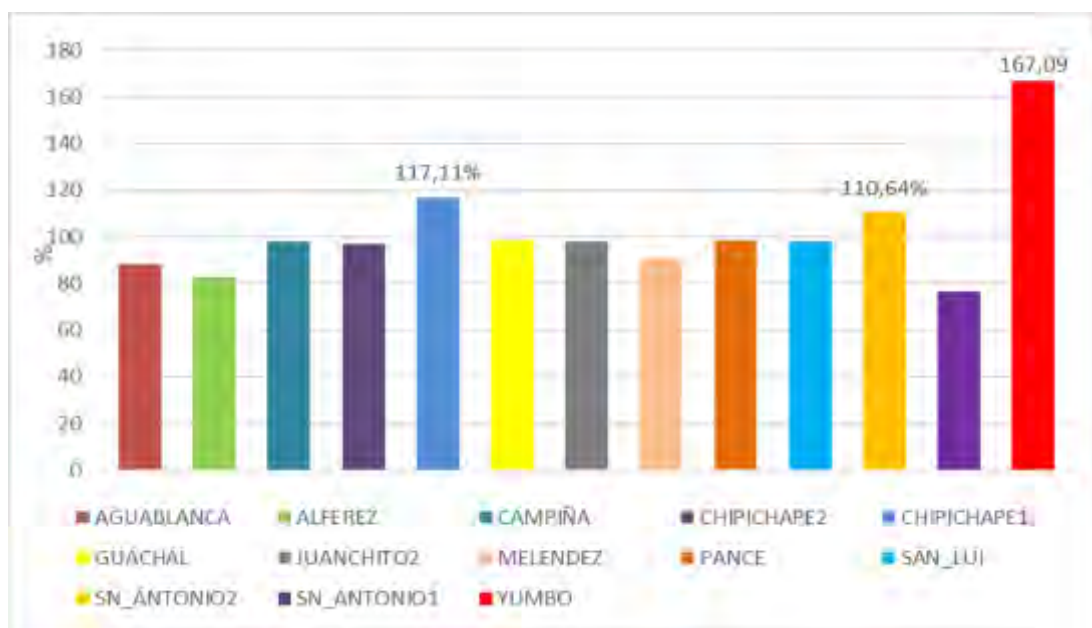
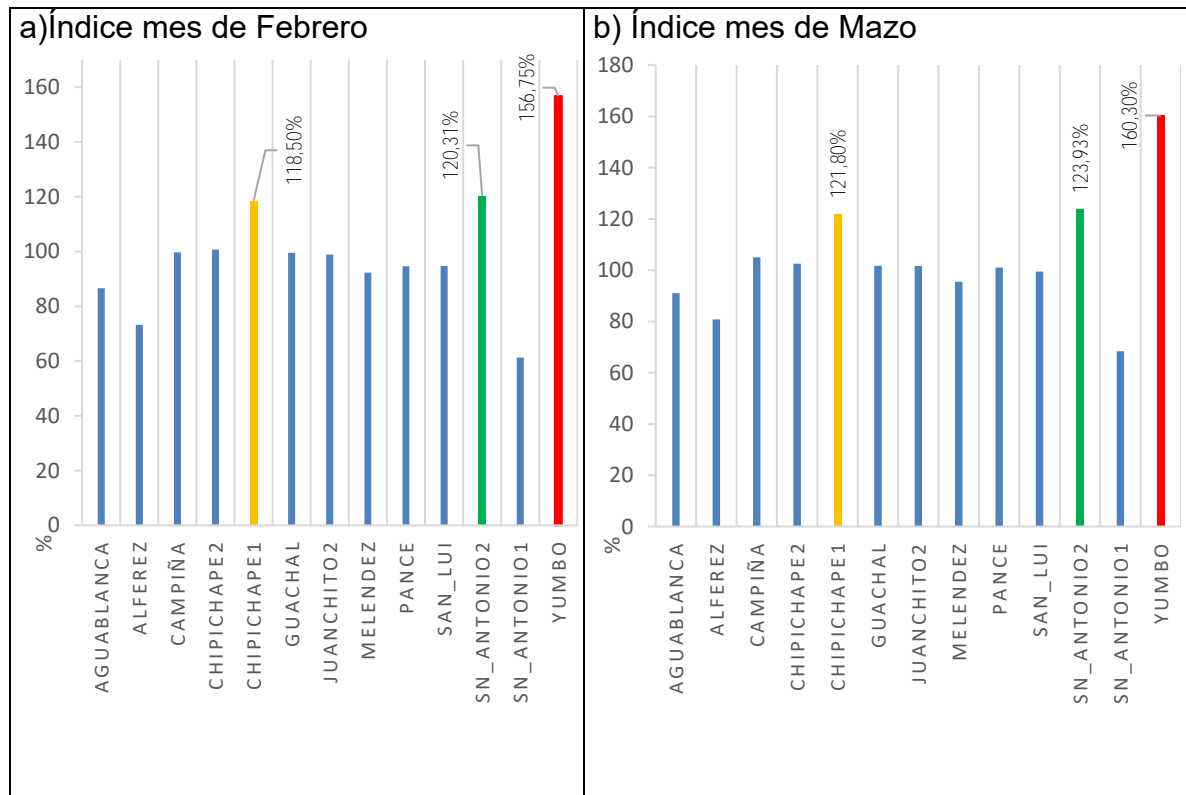


Figura 15.

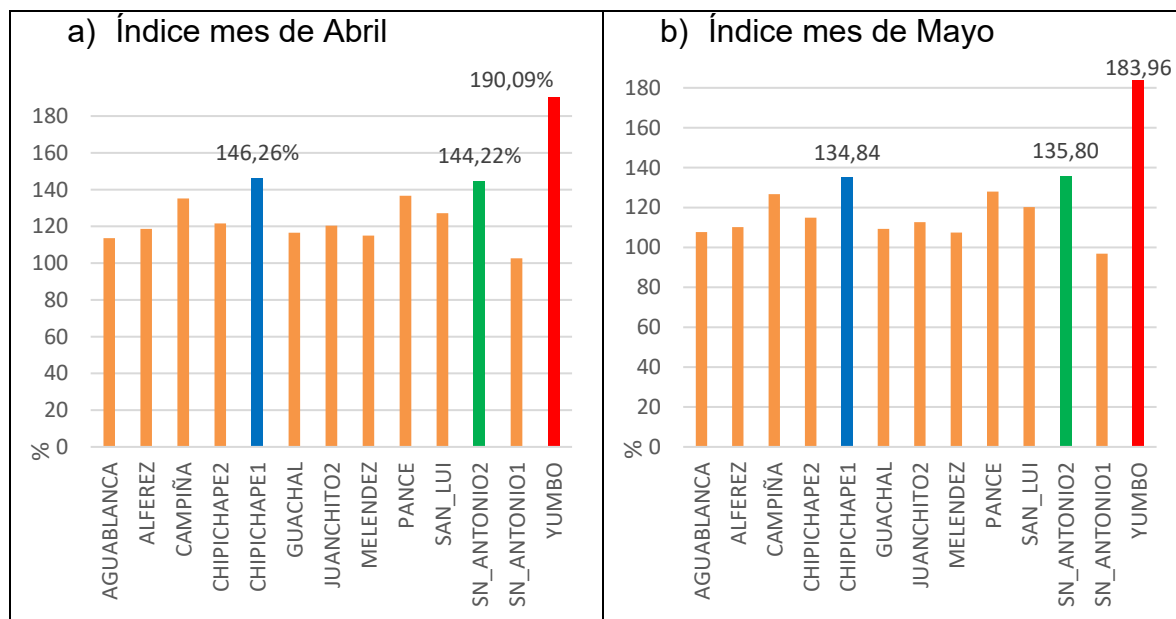
Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Febrero b) Marzo



Se observa que el índice más alto de consumo de energía eléctrica para enero, febrero y marzo fue en la subestación Yumbo tiene índices superiores a 156.75%, seguidamente de la subestación san Antonio 2 y chipichape 1, indicando que la zona norte de la ciudad Cali presentaron un incremento de consumo con relación al año 2019, cabe mencionar que este primer trimestre no se vio directamente afectado con la crisis a cauda de la pandemia Covid-19 ya que el aislamiento empezó regir a mediados y finales del mes de marzo de 2020. (Ver figura 15)

Figura 16

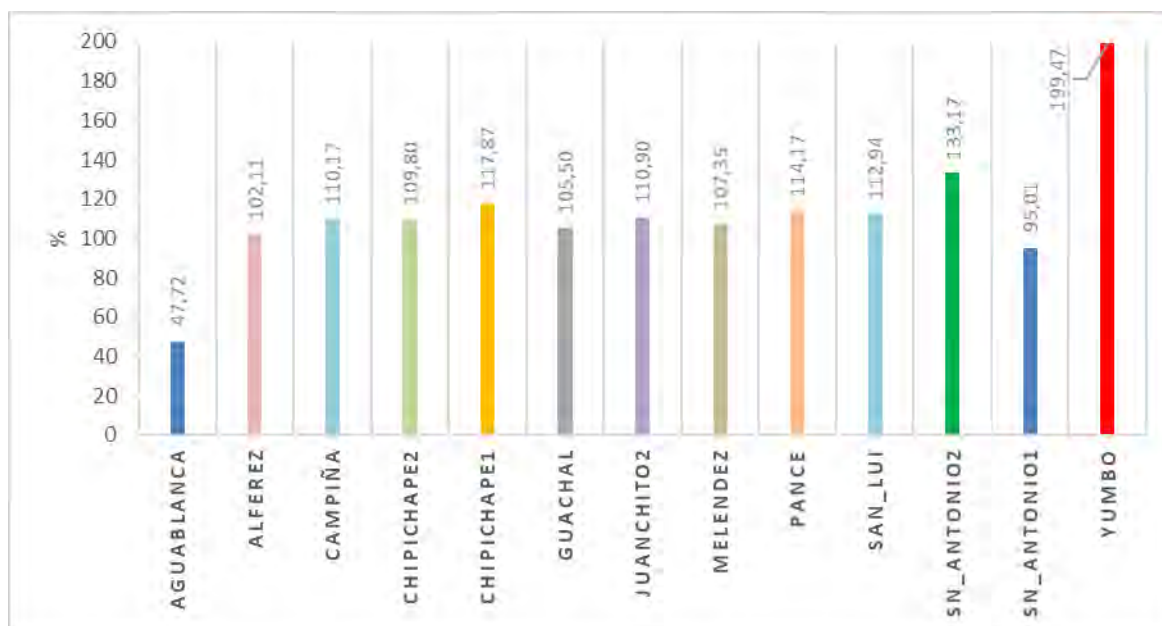
Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Abril b) Mayo



La tendencia ascendente del índice de consumo de energía eléctrica para abril y mayo se mantiene para las 3 subestaciones que puntúan siendo abril el mes de mayor consumo en relación con los meses ya estudiados, indicando que para el 2020 el índice fue mayor por encima del 90% del año base (2019), cabe mencionar que en este mes todas las subestaciones en general presentaron un aumento significativo en relación a los otros meses, en el cual en este periodo de tiempo el país ya afrontaba la cuarentena a causa del Covid-19, donde los hábitos de la población cambiarían como lo que es el teletrabajo. Para el mes de mayo se presenta un descenso con referencia al mes de abril en sus 13 subestaciones pero aun así se mantiene el alza de índices de consumo con referencia al primer trimestre, resaltando la subestación yumbo, san Antonio 2 y chipichape 1. (Ver figura 16). Para junio, julio los índices de consumo de energía eléctrica bajaron esencialmente en la mayoría de las subestaciones con referencia al mayor consumo que se presentó en el mes de abril. En junio se obtuvo que yumbo mantuvo el mayor índice con una cifra superior al 90%, pero las demás subestaciones si presentaron un descenso significativo por ejemplo san Antonio 2 su índice fue de 122.65% y chipichape 1 de 109.30% con relación a abril y mayo, lo mismo sucede para el mes julio en el que todas las 13 subestaciones bajaron en relación a junio en donde muchas de ellas se refieren a índices inferiores al 100%.

Figura 17.

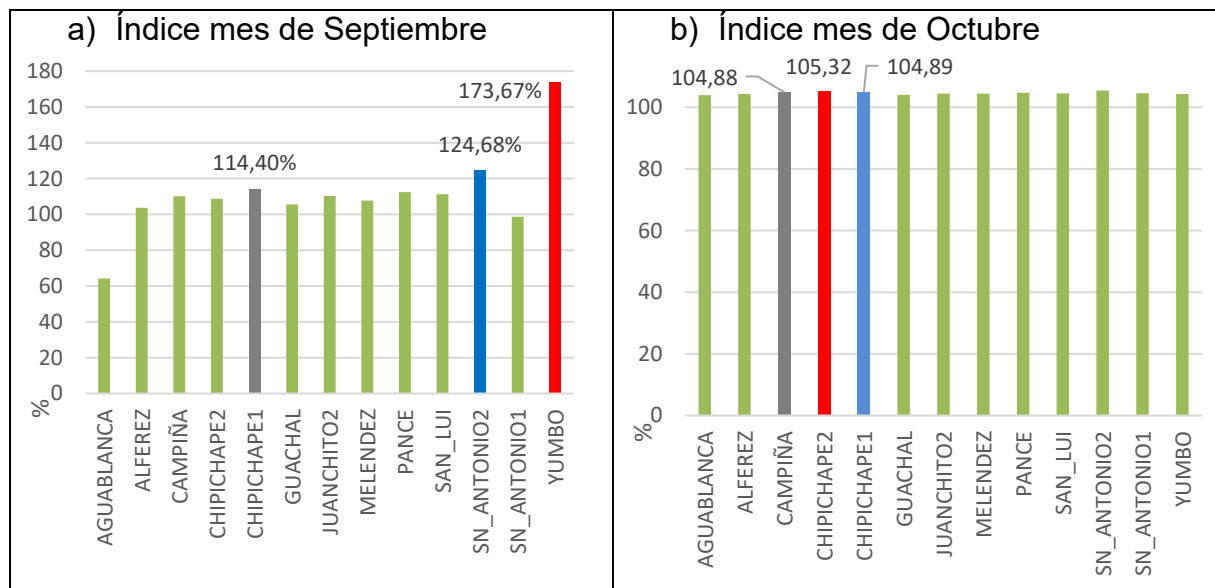
Índice de consumo energético mes de Agosto 2019-2020.



Para el mes de agosto del 2020 se presenta una pequeña alza en el índice de consumo para algunas subestaciones, pero la subestación yumbo obtiene un alza superior casi del 100% en el índice de consumo, esto puede deber a que algunos usuarios que son surtidos de esta subestación debieron incrementar sus producciones que ya para este mes se da reapertura gradual en algunos sectores económicos de la ciudad que dejó el cierre por causa de la pandemia Covid-19. Las demás subestaciones tratan de asemejar su índice de consumo, por las 3 subestaciones con mayores cifras que son San Antonio 2 con un índice de 133.17% y Chipichape 1 117.87 %. Un caso atípico que se presenta en este mes es el bajo índice de consumo para la subestación Aguablanca ya que baja más de la mitad del porcentaje en relación a los meses anteriores esto puede deber a alguna falla en el registro de datos o fallas técnicas, desde lo vivencial este mes sufre muchos cortes eventuales de fluido eléctrico en algunos sectores de la ciudad a causa de cambios climáticos como es la temporada de vientos y el verano. (Ver figura 17)

Figura 18.

Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. a) Septiembre b) Octubre



Por otra parte, el índice de consumo de energía eléctrica para el mes de septiembre de 2020 tuvo una reducción significativa, siendo el más alto (173.67%) en la subestación yumbo, continuamente de las subestaciones estudiadas (Ver figura 18a), la subestación Aguablanca para este mes tuvo un aumento significativo en relación al mes anterior, evidenciando que su comportamiento de consumo varía desde el día 01 hasta el día 23, lo cual refleja el alza de su índice de consumo, (Ver figura 19). Para octubre del 2019 y 2020 se mantiene la subestación chipichape 1 y 2, siéndola la 2 quien presenta el mayor índice 105.32% y aparece una nueva subestación con índice alto que es campiña (Ver figura 18b), cabe mencionar que este mes tuvo una relación de descendencia homogénea en los índices de todas las subestaciones con relación a los meses anteriores, resaltando que para este mes yumbo tuvo una baja de casi más del 90 % de índice de consumo respecto al mes de agosto. (Ver figura 17).

Figura 19.

Comportamiento del consumo mes de septiembre estación Aguablanca 2019-2020.

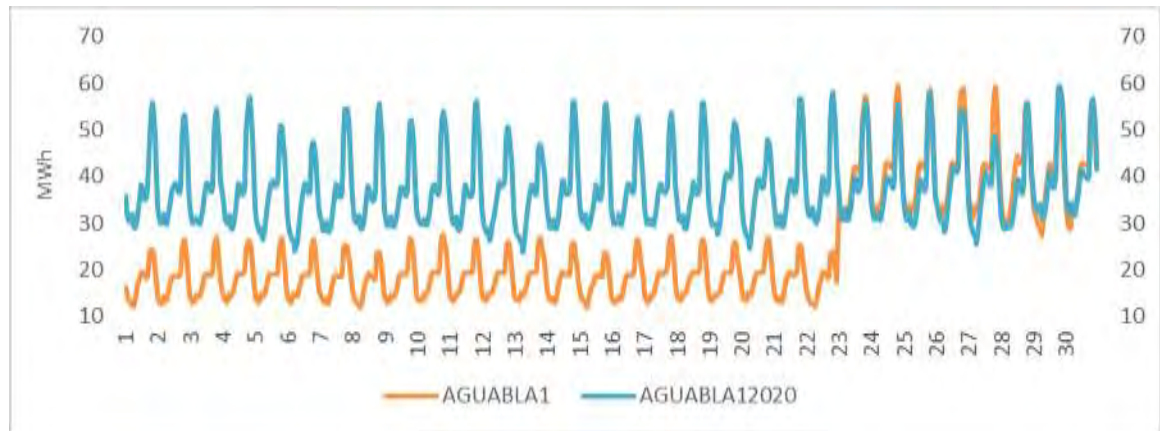
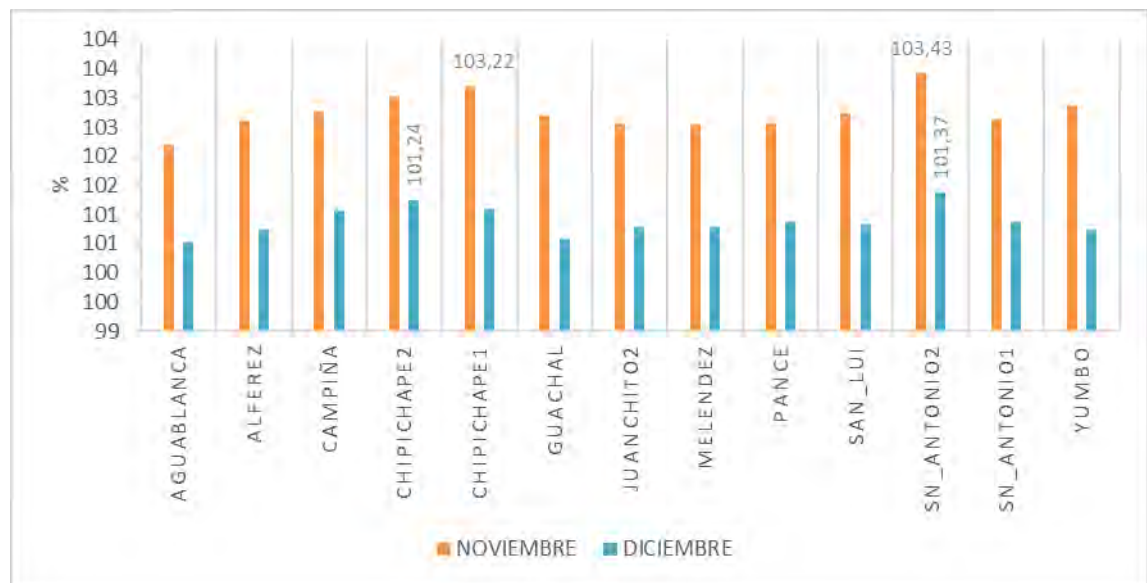


Figura 20.

Índices de consumo de energía eléctrica 2019 -2020. Noviembre - Diciembre



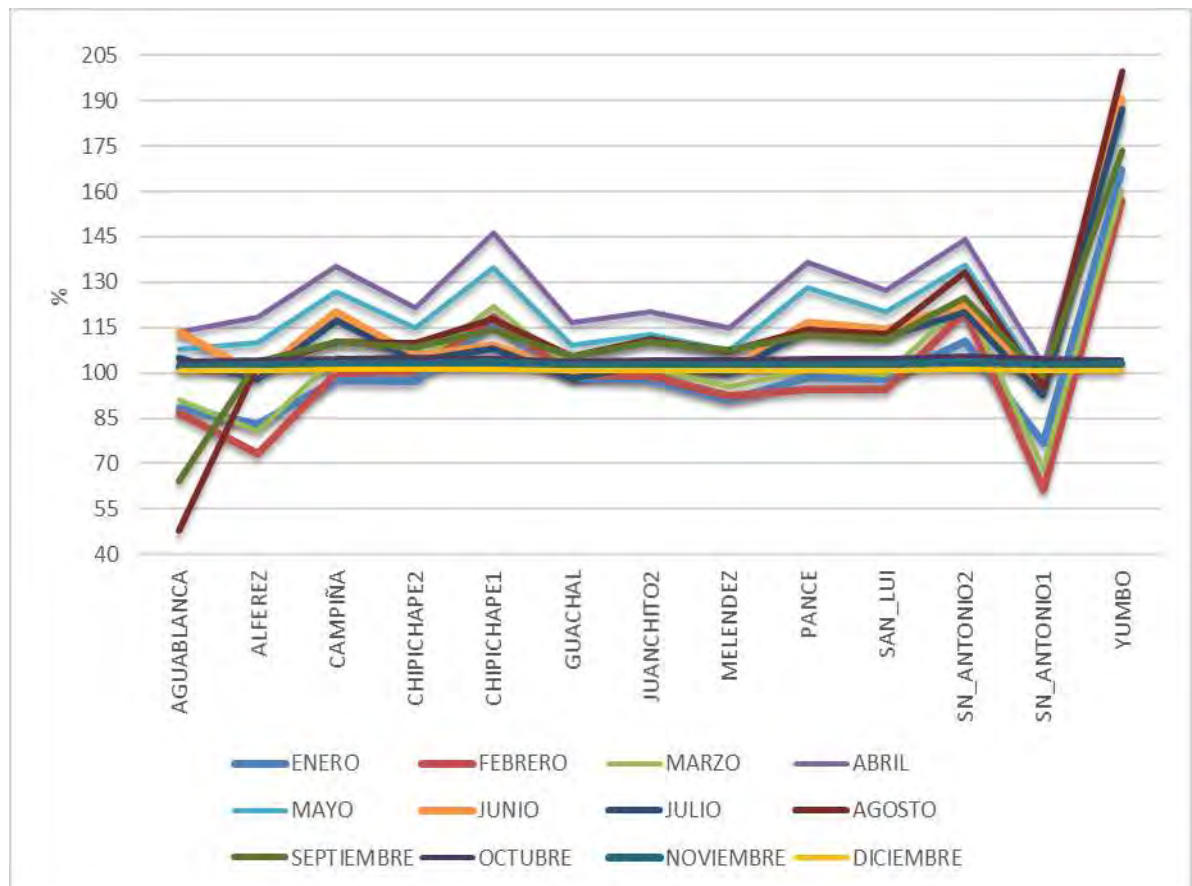
Finalmente, los últimos dos meses del 2020 se sigue presentando la baja de índices con respecto al 2019, evidenciando que para noviembre se tiene un índice de 103.43% subestación san Antonio 2 y 103.22% subestación chipichape 2. Para el mes de diciembre aún se perciben que los índices de consumo de energía tienen a bajar con respecto a los meses anteriores, pero su índice sigue siendo alto con referencia al año 2019, lo cual puede dar razón a que no se tiene aún la normalidad

de los diferentes sectores económicos de la región y ciudad debido a la pandemia del Covid-19. (Ver figura 20)

A continuación, se presenta el comportamiento de los índices de consumo de energía eléctrica durante los 12 meses del 2020, se evidencia que las subestaciones campiña, chipichape 1, Juanchito, Pance, san Antonio 2 y yumbo fueron aquellas que conservaron los picos más altos de índices de consumo en la ciudad en los diferentes meses, e igualmente se observa, la caída para la subestación de Aguablanca para los meses de agosto y septiembre y la homogeneidad sostenida en los últimos 3 meses del año en sus niveles consumo .(Ver figura 21)

Figura 21.

Comportamiento de los índices máximos de consumo energético de Cali.



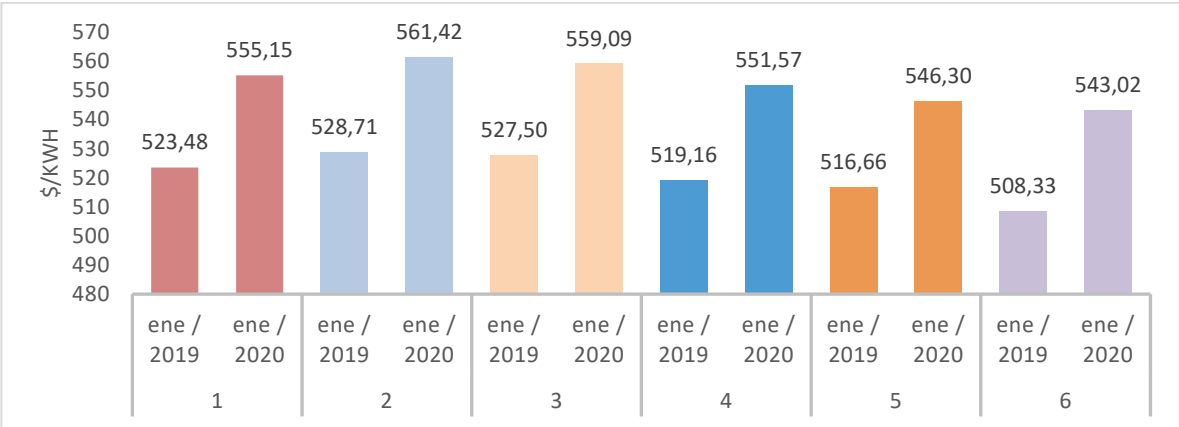
6.2.3 Interpretación de las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali.

En los últimos años, la identificación, la aplicación y el monitoreo de tarifas eléctricas en los diferentes sectores económicos de la ciudad ha sido de gran importancia para conocer el comportamiento de manera correcta para la selección de una tarifa obedeciendo un mismo patrón como es la demanda máxima (KW), la energía consumida (KWh) y factor de potencia (F.P.), teniendo en cuenta los conceptos que forman parte de la facturación como la medición en baja tensión o media tensión, el periodo de facturación (mes) y la calificación del usuario (estrato socioeconómico).

En el caso de la ciudad de Cali se realiza la interpretación de las tarifas energéticas de los años 2019 y 2020 por los 6 estratos socioeconómicos que la conforman, indicando que para el mes de enero de 2020 la tarifa de 561.42 \$/kWh en el estrato socioeconómico 2 fue el valor más alto a diferencia que el estrato 6 se llevó el valor más bajo de 543.02\$/kWh en el mismo mes y año. Para el año 2019 el valor máximo lo obtuvo el estrato 2 con un valor de 528.71 \$/kWh y el mínimo de 508.33 \$/kWh en el estrato socioeconómico 6. (Ver figura 22)

Figura 22.

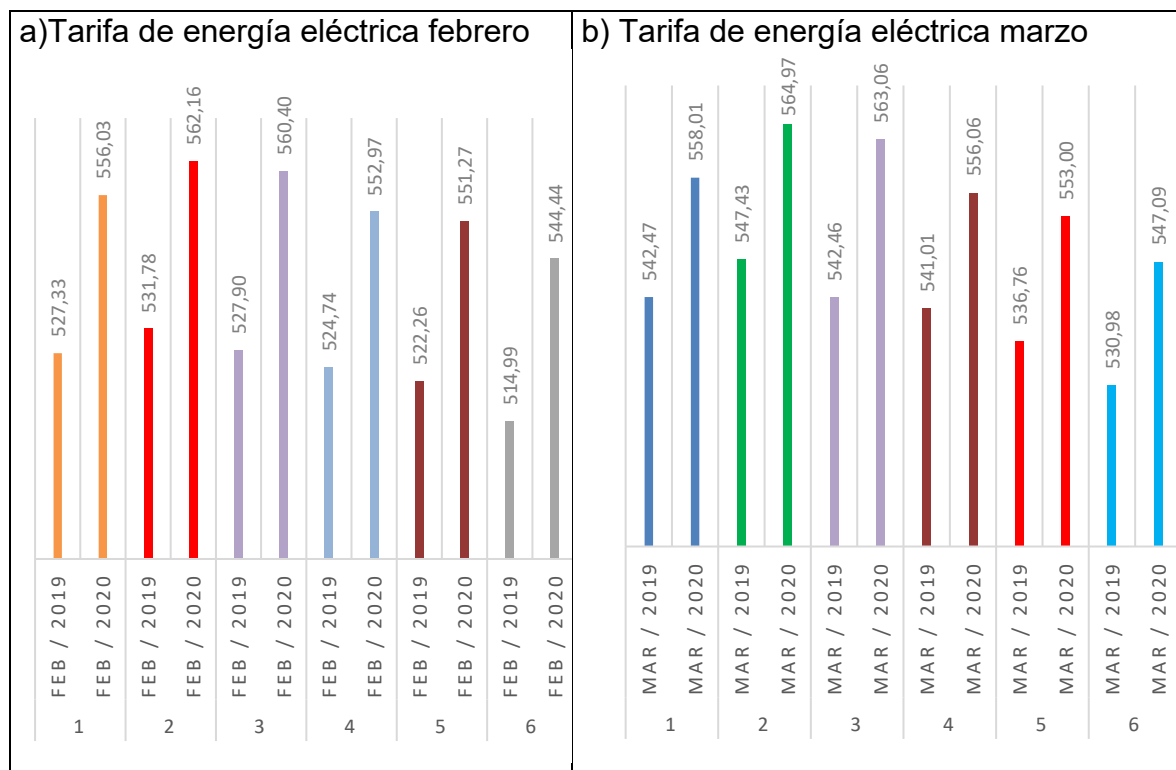
Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de enero 2019-2020



El estrato socioeconómico 2 nuevamente en el mes de febrero de 2020 se lleva el valor más alto en su tarifa con un coste de 562.16 \$/kWh seguidamente del estrato 3 con un valor de 540.60 \$/kWh. Para el 2019 el coste fue de 531.78 \$/kWh y para el estrato 3 de 527.90 \$/kWh teniendo las mayores tarifas en comparación con el año 2019 (Ver figura 23). Marzo continuo con este comportamiento en sus alzas de tarifas para el 2020 en sus estratos 2 y 3 de la ciudad de Cali.

Figura 23.

Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) 2019-2020 a) Febrero b) Marzo



El análisis grafico para el mes de abril en los años 2019 – 2020 indica la misma tendencia de las tarifas anteriores, observando el alza en el coste principalmente el para el estrato 2 dado que su valor fue de 580.12 \$/kWh y 2019 de 567.29 \$/kWh. El estrato que menos registro fue el 6 con un coste de 545.03 \$/kWh (2019) y 565.53 \$/kWh (2020). Seguidamente el mes de mayo se registró el valor más alto del semestre del año 2020 con una tarifa de 594.12 \$/kWh 2020 y 560.49 \$/kWh 2019 indicando los máximos valores de facturación. El estrato socioeconómico 6 sigue siendo el que menor registra para estos periodos. (Ver figura 24)

Figura 24.

Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de mayo 2019-2020

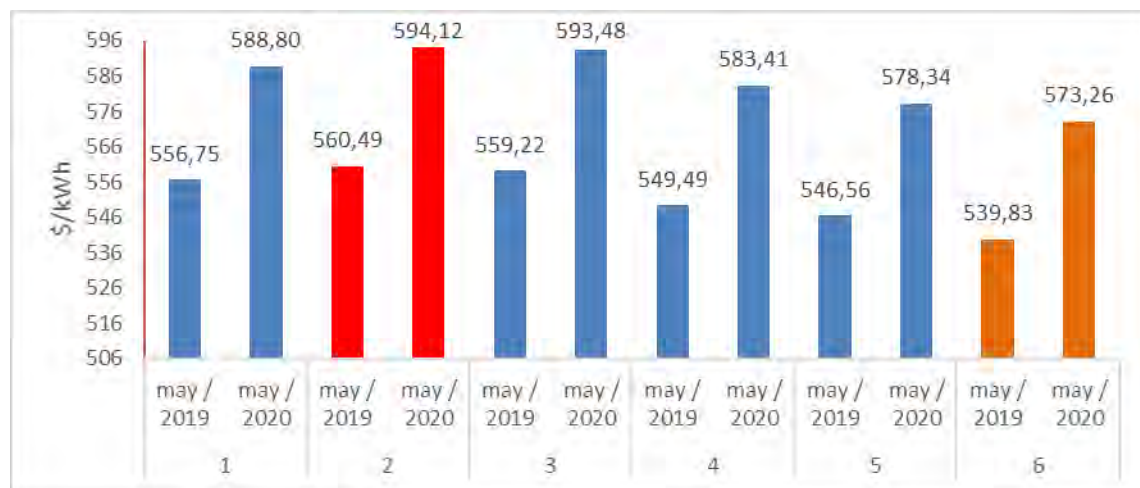
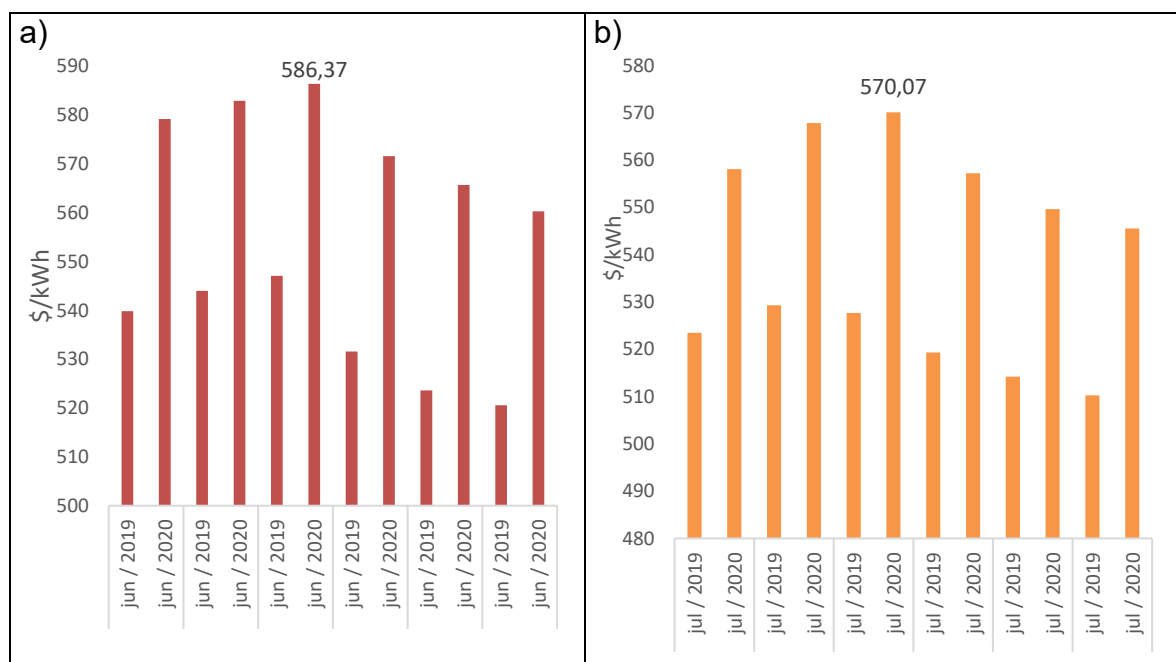


Figura 25.

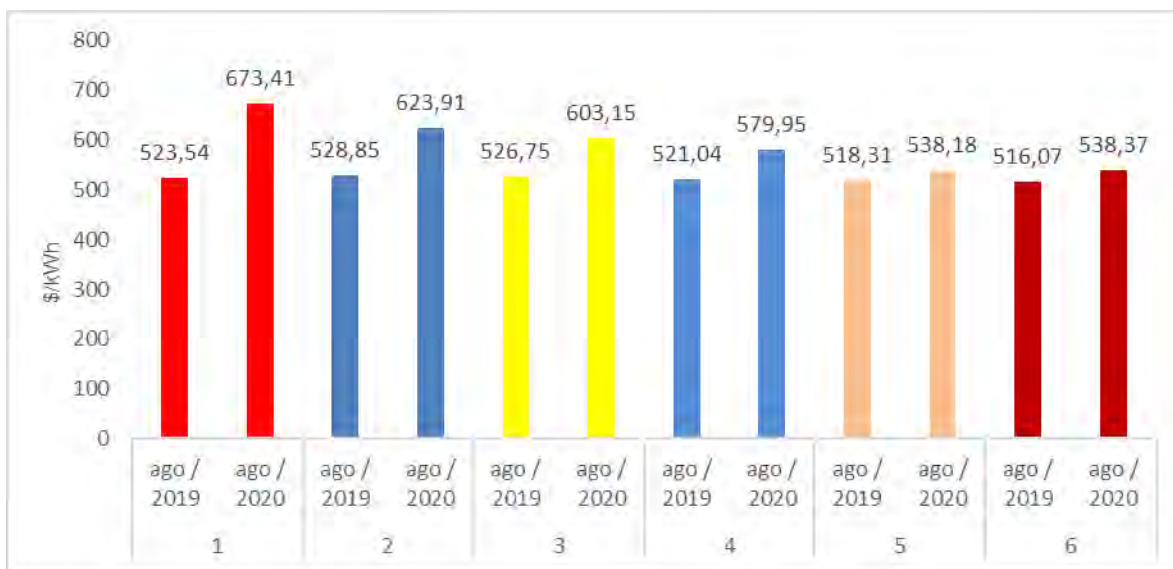
Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) 2019-2020 a) Junio b) Julio



La tendencia para el mes de junio y julio 2019-2020 bajo en todos los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali, registrando valores máximos de 586.37 \$/kWh (junio) y 570.07 \$/kWh (julio) en el año 2020 para estrato 3, lo que indica que para estos dos periodos de tiempo el alza de tarifa se concentró en este estrato y no siguió el patrón punteando el estrato 2 como en los meses anteriores. (Ver figura 25)

Figura 26.

Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) mes de agosto 2019-2020



El análisis grafico para el mes de agosto indico un incremento sustancial a diferencia de los meses anteriores (junio/julio) en todos los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali en los periodos 2019 – 2020, en el cual el estrato 1 tuvo el valor máximo de 673.41 \$/kWh, seguidamente para del estrato 2 en el año 2020, cabe resaltar que en este mes se evidencia que el estrato 6 subió sustancialmente a diferencia del mes de enero (508.33 \$/kWh) del mismo año (2020) con un coste de 538.37\$/kWh. (Ver figura 26)

6.2.4 Índice de las tarifas de energía eléctrica de acuerdo a los estratos socioeconómicos de la ciudad de Cali.

La naturaleza del mercado de electricidad conlleva a que la dinámica de los precios de bolsa sea parcialmente comprendida y que tanto la determinación en los pronósticos por ello es indispensable conocer los índices de tarifa de energía eléctrica en la ciudad y así permitir la toma de decisiones en mercado.

Para tal fin se determinaron los índices del valor Facturado por KW consumido (\$/kWh) por estrato socioeconómico ya que cada coste varía según su nivel, teniendo en cuenta el valor registrado como año base el 2019.

El estrato socioeconómico 1 y 2 catalogados como nivel bajo en la ciudad de Cali, han sido lo que mayor valor facturado por KW consumido se ha registrado según el aplicativo SUI. Por ende, se calculó que el índice de la tarifa de energía eléctrica más alto obtuvo un incremento al año base de 128.64% para agosto del 2020, se detalla que entre el primer semestre presento un comportamiento ascendente, con cifras mayores a las reflejadas con respecto al año 2019, por otro lado, se observa que, para el periodo de mayo, alcanzo un segundo pico con un índice de 112,48%. El estrato socioeconómico 2 presenta una tendencia similar al estrato 1 con la diferencia que su aumento inicia desde el periodo de julio del 2019. El estrato socioeconómico 3 tiene una tendencia ascendente durante el primer semestre del año 2019 pero este sufre una caída en el mes julio, agosto y septiembre, en donde en el mes de agosto su índice de tarifa alcanza un valor de 99.86%, de esta manera para el tercer trimestre del 2019 retoma un comportamiento ascendente hasta agosto del 2020. (Ver tabla 1)

Tabla 1.

Índices de las tarifas de energía eléctrica estrato 1,2 y 3, 2019-2020.

Periodo	Índice Estrato 1 (%)	Índice Estrato 2 (%)	Índice Estrato 3 (%)
Enero / 2019	100	100	100
Feb / 2019	100.73	100.58	100.08
Mar / 2019	103.63	103.54	102.84
Abr / 2019	106.72	107.30	106.48
May / 2019	106.35	106.01	106.01
Jun / 2019	103.12	102.89	103.71
Jul / 2019	100.00	100.11	100.03
Ago / 2019	100.01	100.03	99.86
Sep / 2019	101.09	101.08	100.72
Oct / 2019	102.33	102.40	102.08
Nov / 2019	104.22	104.15	103.41
Dic / 2019	105.92	106.02	105.89
Ene / 2020	106.05	106.19	105.99
Feb / 2020	106.22	106.33	106.24
Mar / 2020	106.60	106.86	106.74
Abr / 2020	109.13	109.72	108.22
May / 2020	112.48	112.37	112.51
Jun / 2020	110.64	110.25	111.16
Jul / 2020	106.61	107.39	108.07
Ago / 2020	128.64	118.01	114.34

Los índices de tarifas de energía eléctrica para los estratos 4, 5 y 6 de la ciudad de Cali, considerados medio, medio-alto y alto, indica que presento una inclinación ascendente durante el primer semestre del año 2019 y no fue mayor al 107.22% y para el periodo comprendido de julio del 2019 nuevamente en los 3 niveles socioeconómicos se direccionan a subir su valor facturado por KW consumido (\$/kWh) alcanzando índices máximo para el estrato 4 de 112.38%, estrato 5 de 111.94% y estrato 6 de 112.77% del año del 2020, el anterior se hace referencia al mes de mayo. (Ver tabla 2)

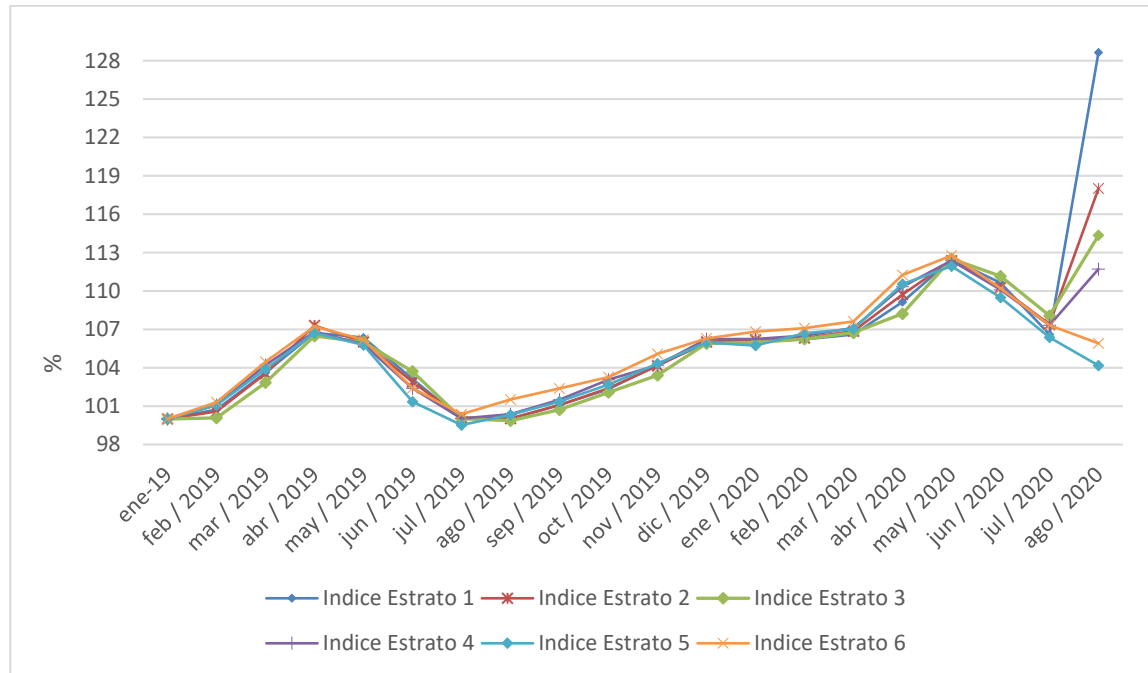
Tabla 2.*Índices de las tarifas de energía eléctrica estrato 4, 5 y 6, 2019-2020*

Periodo	Índice Estrato 4 (%)	Índice Estrato 5 (%)	Índice Estrato 6 (%)
Ene / 2019	100	100	100
Feb / 2019	101.08	101.09	101.31
Mar / 2019	104.21	103.89	104.46
Abr / 2019	106.80	106.71	107.22
May / 2019	105.84	105.79	106.20
Jun / 2019	102.39	101.34	102.41
Jul / 2019	100.03	99.52	100.37
Ago / 2019	100.36	100.32	101.52
Sep / 2019	101.49	101.35	102.38
Oct / 2019	103.08	102.68	103.27
Nov / 2019	104.20	104.32	105.08
Dic / 2019	106.23	105.98	106.28
Ene / 2020	106.24	105.74	106.82
Feb / 2020	106.51	106.70	107.10
Mar / 2020	107.11	107.03	107.62
Abr / 2020	110.33	110.53	111.25
May / 2020	112.38	111.94	112.77
Jun / 2020	110.09	109.49	110.22
Jul / 2020	107.33	106.38	107.32
Ago / 2020	111.71	104.17	105.91

En la siguiente figura generaliza el comportamiento de los índices de tarifas de energía eléctrica de los estratos económicos de la ciudad de Santiago de Cali para el periodo 2019-2020, evidenciando que no se aprecian cambios significativos en su patrón. Es importante resaltar que el estrato 1 a 4 su línea de tendencia asciende y el estrato 5 y 6 desciende para el mes de agosto de 2020. (Ver figura 27)

Figura 27.

Patrón del índice de tarifa de energía eléctrica por estrato socioeconómico 2019-2020.



6.3 INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL CONSUMO Y LAS TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE SANTIAGO DE CALI PARA PROVEER INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES DE ORDEN ENERGÉTICO Y DE ACUERDO A LAS PERSPECTIVAS Y ESQUEMAS DE MEDICIÓN AVANZADA DEL PROYECTO DE RESOLUCIÓN CREG 131 DE 2020

Durante el periodo de interpretación de los datos de consumo de la ciudad de Santiago de Cali para los periodo 2019-2020, las subestaciones de mayor registro fueron la subestación Melendez y Juanchito con un tope máximo de consumo de 106.47397 Y 102.41557 MWh para el periodo de septiembre del 2019, además de ello se conoció que la subestación Aguablanca sufrió una actividad a destacar durante el periodo 2020 en donde a causa de una falla técnica registrada para el periodo entre agosto y mediados de septiembre del 2020, bajo sustancialmente que hizo destacar su patrón de registro de consumo. Para la interpretación de las tarifas se observó que para los meses de mayo y agosto del 2020, fueron los meses donde la tarifa de energía fueron las más altas, además de que el estrato 2 es aquel que registra el valor de tarifa de energía mas alto con respecto a los 6 estratos socioeconómicos registrados permitiendo conocer hoy por hoy el uso de la energía eléctrica como elemento primordial en el estudio de una ciudad.

En este mismo sentido conocer, interpretar e implementar los índices de consumo y tarifa de energía eléctrica son una herramienta principal para conocer los beneficios reales relacionados con la implementación de medidas de eficiencia energética es la medición de las reducciones de consumo alcanzadas, es importante tener en cuenta que los ahorros energéticos pueden ser traducidos a una economía en la cuenta mensual de los usuarios finales.

A nivel nacional, regional e incluso local se tiene una gran cantidad de fuentes de energía por ende el gobierno en sus planes de desarrollo está en el proceso de implementación de un proyecto mediante la Resolución CREG 131 de 2020 describiendo la ejecución de una infraestructura de medición avanzada (AMI) (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020) en el sistema interconectado nacional, con un proceso de 4 fases, comprendido entre los periodos 2020 a 2030 teniendo como esta última fecha, éxito del plan, buscando una definida cantidad de beneficios, dentro de ellos, la mejorar de la calidad de servicio, favoreciendo un camino rápido y eficaz en la obtención de información del usuario y operador de red, por medio de las herramientas tecnológicas conocidas en la actualidad. Esta medición avanzada cobra un real valor por varios aspectos: estos van, desde la necesidad de los actores de verificar si los cambios que realizaron para reducir el consumo tuvieron éxito, hasta cuantificar la disminución de su huella de carbono, hablando ambientalmente esto debido a la implementación de medidas de eficiencia energética. No obstante para llegar a efectuar una AMI eficaz, es importante considerar conocer cuánta energía se consume y su facturación en un período determinado, por lo general, en un ciclo de uso, identificando aquellos sistemas que tienen un mayor consumo dentro de las subestaciones, instalaciones de empresas y edificios (Jara, 2012).

Se espera que a mediano plazo la mayor parte de la sociedad pueda ser partícipe de este tipo de medida, mediante las herramientas tecnológicas como las TICs y los equipos de medida actualizados, realizando técnicas estadísticas para los procesos de control de consumo con sistemas prepago (pago de consumo definido) como otro beneficio, además de la creación de tarifas horarias y el proceso del autoconsumo inteligente (sistemas de consumo controlado), este modelo es similar a países desarrollados. Finalmente esta investigación correlaciona efectivamente con la normativa, puesto que, conocer la cuantificación del comportamiento de consumo y tarifas de energía eléctrica en la ciudad de Cali, ayuda a facilitar la manera de ejecutar pruebas pilotos en los sistemas de medición avanzada para posteriormente proponer estrategias del cómo definir tarifas o cobro sectorizado. Otra utilidad que permitió este estudio, en el análisis detallado de consumo de energía eléctrica con el uso de lenguajes de programación y métodos estadísticos, enfoca nuestras estrategias en el proceso de generación de energías renovables en pequeña escala.

La ciudad de Cali cuenta con un sistema de red capaz de implementar la tecnología AMI, por ende esta medida se está ejecutando en sectores residenciales de difícil acceso (estrato socioeconómico bajo) para el monitoreo de lectura de consumo debido a los problemas sociales del entorno y en zonas donde convergen gran cantidad de usuarios comerciales en una franja delimitada, esta medida ha funcionado como prueba piloto en la implementación a nivel general del sistema interconectado de la ciudad en el uso de esta normativa, permitiendo pilotos graduales a partir del conteo ascendente de los índices de consumo registrado en las subestaciones, dado a lo anterior, se propone el orden para la implementación de la normativa teniendo como base el periodo de transición de estudio (2019-2020) de la siguiente manera:

- San Antonio 1
- Alférez
- Aguablanca
- Meléndez
- Campiña
- Chipichape 2
- San Luis
- Guachal
- Juanchito
- Pance
- San Antonio 2
- Chipichape1
- Yumbo

Dado el precedente anterior, se plantea que la normativa AMI inicie con la subestación de menor capacidad de consumo de energía eléctrica (San Antonio 1) siguiendo el patrón ascendente según los resultados dados, además de ello se recomienda iniciar con el estrato residencial sin desconocer los demás sectores (comercial, industrial, oficial, otros), debido a que el sector residencial facilita acuerdos protocolarios en casos como el corte de fluido eléctrico o interrupción del servicio. Para los otros estratos el nivel de acuerdo es más complejo debido a que manejan diferentes subtipos de suscriptores según la cantidad de consumo del predio. Finalmente el índice de consumo y tarifas de energía eléctrica que se realizó, permite a los comercializadores promover, adelantar e implementar estudios de beneficio-costos, donde se reflejara la prioridad de usuarios y los materiales a emplearse llegando a acuerdos mutuos entre las partes.

7. CONCLUSIONES

Es indudable que la energía eléctrica tiene un rol importante en el desarrollo social y económico de la ciudad de Santiago de Cali, por lo tanto resulta esencial garantizar la comercialización de electricidad y la cobertura de las necesidades energéticas básicas de los usuarios de manera adecuada, debido a ello la formación de bases de datos es primordial para el registro de la información que suelen ser documentos engorrosos suministrados por la unidad de control de pronóstico (UCP) en la central de despacho de XM. El manejo de esta información resulta útil y beneficiosa aplicando lenguajes de programación Python para optimizar la extracción de los datos como la ciudad, barra, tipo de energía (activa, reactiva y perdidas) y el consumo registrado en 24 horas, por lo tanto este lenguaje facilita el desarrollo artificial de procesos a gran escala y de manera automática, a partir de acciones definidas del individuo.

La consideración de indicadores de consumo y tarifa de energía eléctrica reales es un elemento indispensable para la evaluación de la prestación del servicio de energía eléctrica de la ciudad, a partir de este estudio fue posible determinar sus índices correspondientes indicando que, las comparación de consumo eléctricos entre 2019 a 2020 en 13 subestaciones de la ciudad de Cali, dio a conocer que el sistema de red en el 2019 presenta un patrón de consumo mes a mes siendo el año base. El cambio de consumo de energía eléctrica más significativo ocurrió en el año 2020 en el segundo trimestre del año, esto se debió al inicio del proceso de aislamiento obligatorio (cuarentena) decretado por presidencia a causa de la pandemia por el virus Covid-19, evidenciando que para el mes de abril todas las subestaciones de la ciudad superaron el índice del 100%, alcanzando un valor máximo registrado de 146.26% en la subestación Chipichape1, lo anterior con respecto al 2019, por otro lado los meses siguientes registraron índices por debajo al mes pico (abril 2020) conservando el mismo comportamiento de consumo aunque los índice disminuyeron a 134.8% en la subestación Chipihapes1 y en la Subestación San Antonio2 fue 135.8% para el mes de Mayo así hasta el periodo de Diciembre de 2020, conservando una simetría cercana al 100%, cabe resaltar que se presentó una situación atípica en la subestación Aguablanca en los meses de agosto y septiembre donde su índice disminuyo de manera abrupta a un valor de 47.72% y 64.23% respectivamente y finalmente para el último trimestre del año se nivelo a un registro similar al año 2019. Para las tarifas de energía eléctrica en el sector residencial de la ciudad de Cali presento comportamiento elevado durante todos los meses del año 2020 en comparación al valor del 2019

En síntesis la generación de índices de consumo de energía eléctrica por cada subestación y los índices de tarifas de energía eléctrica en el sector residencial de la ciudad de Cali, objeto de esta investigación complementa una excelente prueba

piloto para la implementación de la normativa según la resolución de la CREG 131 de 2020 ya que estas estadísticas realizadas permiten de manera detallada indicar del cómo iniciar en la regulación de la normativa y proceder al uso eficiente del consumo energético en la toma de decisiones en la ciudad de manera sectorizada, hasta departamental, regional y nacional, logrando esperar que al 2030 el 75% de los usuarios del país puedan contar con medidores avanzados, según los planes de despliegue de cada prestador del servicio. Finalmente apuntar a estos estudios de investigación son una herramienta que facilita a las entidades comercializadores en la búsqueda de aumentar la competencia y eficiencia del servicio en beneficio de los consumidores, exteriorizando la información producida por los medidores avanzados de energía eléctrica y además de ello publicada para que cada usuario pueda tener información de sus consumos, casi que en tiempo real, y pueda tomar mejores decisiones respecto de su consumo así como también pueda cambiar de proveedor del servicio en el momento en que lo considere.

8. RECOMENDACIONES PARA EL DESPLIEGUE AMI EN LA CIUDAD DE CALI

La ciudad de Santiago de Cali se encuentra en un proceso de transición para la implementación de la tecnología de medida inteligente, desde hace aproximadamente 9 años atrás, en donde se han venido aplicando pilotos en grupos de alto afluente de usuarios como lo es el centro de la ciudad o en casos donde habitan grupos vulnerables de tipo social, por otro lado se han aplicado sistemas de comunicación en tiempo real en usuarios que son de un tipo de comercializador diferente al del operador de red (EMCALI) de la ciudad o son de muy alto consumo. Por lo anterior y en la aplicación de las nuevas normativas como el proyecto de CREG 131 del 2020, se desea que la mayor parte del sistema interconectado nacional sea apto y haga uso de la infraestructura de medición avanzada.

Trabajos de investigación como este permitieron determinar algunas de las medidas aptas para la ejecución o aplicación de la instalación de la medida, una primera instancia fue conocer aquellas subestaciones del anillo abrigaban zonas o grupos los cuales a partir de su capacidad de consumo pueden servir para la aplicación de manera gradual ascendente para la aplicación de la instalación de la medida AMI.

De lo anterior se logró conocer que hay orden jerárquico en la ciudad determinado gracias a la investigación que es el siguiente:

1. San Antonio 1
2. Alférez
3. Aguablanca
4. Meléndez
5. Campiña
6. Chipichape 2
7. San Luis
8. Guachal
9. Juanchito
10. Pance
11. San Antonio 2
12. Chipichape 1
13. Yumbo

Una de las condiciones que además permitiría la ejecución de este proyecto sería conocer el tipo de usuario a intervenir, por ello la mejor condición a la aplicación de ello es bajo consumo o ser de tipo residencial como lo es primeras subestaciones

en el listado anterior, de esta manera se iría viendo un segundo punto que sería tomar o aplicar a los usuarios de un rango de consumo mayor como lo son el comercial y finalmente el industrial, aunque cabe destacar que hay otros grupos que pocos son tomados en cuenta y en su caso reciben el nombre de “otros”, mientras se realizó en periodo de recolección en cuanto a tarifas, se conoció que dichos sectores son los oficiales, provisionales, alumbrado público, asistencia especial y el distrito riego, los anteriores grupos son minorías ya que son contados a nivel de la ciudad que pueden aplicar el uso de la medida de una forma prioritaria siempre y cuando se llegue a un acuerdo entre el usuario y el comercializador.

Por parte del comercializador se ve también la facilidad de estudio financiera en cuanto a la cantidad de material o tiempo de ejecución, ya que al conocer cantidad de consumo le ayuda en la ejecución e implementación de materiales necesarios en relación a los usuarios.

Ya como condición externa, esta los patrones monetarios brindados por el comercializador en la ejecución de este tipo de medidas, ya que el deseo por querer progresar en un sistema mucho más moderno y competitivo a nivel comercial es importante, además de que el mismo gobierno suministra fuentes económicas para la evolución tecnológica a nivel del área de la energía, además de que la infraestructura de medida avanzada permite ver a la sociedad como un modelo de ejemplo para la ejecución futura de proyectos.

9. TRABAJOS FUTUROS

Como continuación de este trabajo de investigación y como en cualquier otro trabajo de tesis, existen diversas líneas de investigación que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Durante el desarrollo de esta tesis han surgido algunas líneas futuras que se han dejado abiertas y que se esperan aplicar en un futuro; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de cuestiones que han ido surgiendo durante la realización de la misma.

Otras, son líneas más generales que, sin embargo, no son objeto de esta tesis; estas líneas pueden servir para retomarlas posteriormente o como opción a trabajos futuros para otros investigadores.

A continuación, se presentan algunos trabajos futuros que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación o que, por exceder el alcance de esta tesis, no han podido ser tratados con la suficiente profundidad. Además, se sugieren algunos desarrollos específicos para apoyar y mejorar el modelo y metodología propuestos. Entre los posibles trabajos futuros se destacan:

- Realizar estudios de sistemas de control de generación de perdidas en la ciudad de Santiago de Cali, que sirvan para el chequeo de calidad de consumo de energía eléctrica, para así crear métodos de corrección y reducción de las mismas.
- Estudiar las condiciones de trabajo y registro de cada una de las 13 subestaciones, en donde por medio de los registros de consumo detectados, podemos conocer condiciones de fallas desde los datos atípicos detectados.
- Capturar los picos de consumo máximo detectados en el registro de los años 2019-2020, por los cuales permiten conocer los límites de consumo registrados en la ciudad que pueden ser causados por fallas o hechos externos del área eléctrica.
- Interpretar desde el área financiera los patrones causales que llevan a que el costo de las tarifas de energía eléctrica haya provocado el aumento durante el periodo del 2020 en la ciudad de Santiago de Cali.
- Implementar estudios técnicos de cada una de las subestaciones, que permitan identificar la capacidad nominal y que tipo de clientes son alimentados a partir de

estas, donde se pueden determinar conclusiones mas a fondo en cuando a los análisis de consumo.

- Conocer los comportamientos de consumo de la ciudad de Santiago de Cali antes y después, al realizado en el presente documento que permitan conocer distintos patrones de comportamientos registrados en la ciudad, a partir de herramientas externas de la estadística o en el manejo externo de lenguajes operacionales automáticos para la toma de decisiones.
- Implementar el modelo y metodología propuesta tanto en diferentes investigaciones de la rama del consumo de energía eléctrica de manera local como en procesos externos o interregionales, para conocimiento y aplicación de normativas regulatorias.
- Diseño, desarrollo e implementación de una memoria mas amplia en cuanto al manejo de la gestión de información para los conocimientos resolución de problemas y consultas externas de expertos. Con esta base informática se pueda identificar problemas que pueden servir, para procesos, principalmente en procesos claves previamente identificados durante el ejercicio, los cuales pueden ser resueltos de manera acertada.
- Crear grupos de discusión sobre temas o problemáticas detallados durante la ejecución de la investigación, para la creación grupal de soluciones que faciliten la buena toma de recolección de información.

REFERENCIAS

- Agudelo Candelo, L., Calvo Walteros, B., y Ortega Victoria, M. A. (1990). *Proyección de la demanda de energía eléctrica en subestaciones, alimentadores y barrios bajo el área de influencia de EMCALI*. Cali: [Proyecto de grado] Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/2673/1/T0000948.pdf>
- Chavez Martinez, K. D., Orellano Herrera, L. P., y Padilla Pineda, J. D. (2020). *Pronóstico y análisis de energía eléctrica en usuarios residenciales de Barranquilla*. Barranquilla: Universidad del Norte. Obtenido de <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/9269>
- Comision de Regulacion de Energia y Gas. (25 de Junio de 2020). *Resolucion No 131 de 2020*. Obtenido de [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/33d0b0fa08574678052585a50075e521/\\$FILE/Creg131-2020.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/33d0b0fa08574678052585a50075e521/$FILE/Creg131-2020.pdf)
- CREG. (2017). *Funciones*. Obtenido de <https://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/funciones>
- DANE. (2020). *DANE*. Obtenido de Preguntas frecuentes estratificación: https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/Preguntas_frecuentes_estratificacion.pdf
- Departamento Administrativo de Planeación. (2019). *Cali en cifras* (Subdirección de desarrollo integral ed.). Cali, Colombia: Guido Escobar Morales. Obtenido de <https://www.cali.gov.co/planeacion/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=41162>
- Educative. (2020). ¿Qué son los pandas en Python? Obtenido de: <https://www.educative.io/edpresso/what-is-pandas-in-python>
- El Congreso de la República de Colombia. (26 de Agosto de 2013). *Solicitud concepto favorable para que Cali sea un Distrito Especial*. Obtenido de <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2017-07/Creaci%C3%B3n%20Distrito%20Especial%20de%20Cali.pdf>

El Congreso de la Republica de Colombia. (2018). *Ley No 1933 de 01 Agosto de 2018*. Obtenido de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201933%20DEL%2001%20DE%20AGOSTO%20DE%202018.pdf>

EMCALI. (Enero de 2019). *Gerencia de Unidad Estratégica de Negocio de Energía*. Obtenido de estudio de condiciones para migración de usuarios a niveles de tensión superior - munts: <https://www.emcali.com.co/documents/136518/136781/Estudio+MUNTS+EMCALI.pdf>

Hernández Martín, Z. (2012). *Metodos de analisis de datos: Apuntes*. Universidad de la Rioja. Obtenido de https://www.unirioja.es/cu/zehernan/docencia/MAD_710/Lib489791.pdf

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (6° ed.). Mexico: Mc Graw Hill.

ICANE. (Agosto de 2011). *Estadística Descriptiva y Analisis de Datos con la Hoja de Calculo Excel*. Obtenido de: <https://econometria.files.wordpress.com/2011/08/sesion7.pdf>

IDAE. (16 de Julio de 2011). *Proyecto SECH-SPAHOUSEC*. Obtenido de Análisis del consumo energético del sector residencial de España: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPASHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

Jara, G. (Abril de 2012). La importancia de la medición del consumo energetico. *AChEE*. Obtenido de http://old.acee.cl/577/articles-63854_recurso_7.pdf

Minergia. (2019). *Normativas y entidades adscritas*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/entidades-adscritas-y-vinculadas>

SSPD. (2020). *Quienes Somos*. Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/nuestra-entidad/quienes-somos>

SuperProf. (2019). *Coeficiente de variación y puntuaciones típicas*. Obtenido de <https://www.superprof.es/apuntes/escolar/matematicas/estadistica/descriptiva/coeficiente-de-variacion-y-puntuaciones-tipicas.html>

Tellez Gutierrez, S. M., Rosero Garcia, J., y Cespedes Gandarillas, R. (2018). Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, 36(2), 469-488. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n2/2145-9371-inde-36-02-469.pdf>

UPME. (2017). *Nuestra Entidad*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>

UPME. (Julio de 2019). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia*. Obtenido de http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Proyeccion_Demanda_Energia_Jul_2019.pdf

UPME. (Febrero de 2020). *Plan energético Nacional*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/UPME_Presentacion_PEN_V48.pdf

Usc. (2013). *Estadística y metodología de la investigación*. Obtenido de http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_G2021103104_EstadisticaTema1.pdf

Vidas, B. M. (15 de Mayo de 2020). *Energía para el futuro*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/confinamiento-y-energia-electrica-cambio-en-los-patrones-de-consumo/>

XM. (2020). *Estructura del Mercado*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/Paginas/Mercado-de-energia/descripcion-del-sistema-electrico-colombiano.aspx>

XM. (2020). *XM*. Obtenido de Pronóstico oficial de demanda (definitivo): <https://www.xm.com.co/Paginas/Generacion/Pronostico-oficial-de-demanda.aspx>